

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**Konstrukční návrh servisního robotu pro monitorování a odběr
vzorků ve větších hloubkách**

***The Construction Design of Service Robot for Monitoring and Sampling
in Bigger Depths***

Student:

Bc. Tomáš Chlopčík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Chlopčík**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T013 Robotika

Téma: **Konstrukční návrh servisního robotu pro monitorování a odběr vzorků
ve větších hloubkách**
**The Construction Design of Service Robot for Monitoring and Sampling
in Bigger Depths**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí servisního robotu pro monitorování a odběr vzorků ve větších hloubkách.
2. Proveďte výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Creo.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

SKAŘUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místo přísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. 5. 2013

.....

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Plné jméno autora práce:

Bc. Tomáš Chlopčík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bohuslavice, Školní 283, 747 19

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CHLOPČÍK, T. *Konstrukční návrh servisního robotu pro monitorování a odběr vzorků ve větších hloubkách*, Ostrava: Katedra Robototechniky, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 64 s., Diplomová práce, vedoucí: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem podvodního servisního robotu. V úvodu práce je vypracována analýza o podvodních servisních robotech a jejich oblasti nasazení. Na základě analýzy byl stanoven požadavkový list a vypracovány tři varianty řešení robotu, ze kterých byla hodnotovou analýzou vybrána optimální varianta. Optimální varianta byla dále rozpracována. Práce je doložena výkresovou dokumentací, 3D modelem optimální varianty, výpočty a pevnostními analýzami.

ANNOTATION OF THESIS

CHLOPČÍK, T. *The Construction Design of Service Robot for Monitoring and Sampling in Bigger Depths*, Ostrava: Department of Robototechnics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2013, 64 p., Master Thesis, Head: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

This thesis deals with the structural design of underwater service robot. The introduction is an analysis of underwater service robots and their areas of application. On the basis of the analysis was determined wish list and developed three variants of the robot solutions, from which the optimal value analysis chosen variant. Optimal been further elaborated. The work is accompanied by drawings, 3D models, optimal design, calculations and strength analysis.

Obsah

Úvod	11
1 Analýza podvodních servisních robotů.....	12
1.1 Oblast využití podvodních servisních robotů.....	12
1.2 Rozdělení servisních robotů pro práci pod vodou.....	12
1.2.1 Autonomní podvodní plavidlo AUV	13
1.2.2 Dálkově ovládané plavidlo ROV	14
1.3 Výběr dostupných ROV	15
1.4 Stabilita	17
1.5 Ponoření, vynoření a regulace hloubky ponoru	19
1.5.1 Ponoření pomocí motorů	19
1.5.2 Ponoření za použití balastních nádrží	19
1.6 Zdroje energie podvodních robotů	20
1.6.1 Napájení pomocí kabelu	20
1.6.2 Spalovací motor	20
1.6.3 Akumulátor	21
1.6.4 Solární dobíjení.....	21
2 Požadavkový list.....	22
3 Varianty řešení.....	22
3.1 Odběr vzorků.....	22
3.2 Varianta A	24
3.3 Varianta B	26
3.4 Varianta C	27
3.5 Porovnání jednotlivých návrhů	29
4 Hodnotová analýza	30
4.1 Bodovací stupnice	30
4.2 Kritéria hodnocení.....	30
4.3 Porovnání kritérií	31
4.4 Hodnocení kritérií	31
4.5 Určení významností kritérií.....	32
4.6 Hodnocení jednotlivých variant	32
4.7 Vyhodnocení a určení optimální varianty	33

5	Podvodní servisní robot.....	34
5.1	Trup	35
5.2	Hloubkové kormidlo	36
5.3	Nosný rám	39
5.4	Držák elektroniky	40
5.5	Zád' robotu.....	42
6	Návrhové a kontrolní výpočty	43
6.1	Výpočet hydrostatického tlaku v pracovní hloubce	44
6.2	Vyvážení servisního robotu.....	44
6.2.1	Výpočet vztlakové a tíhové síly před vyvážením	45
6.2.2	Výpočet vztlakové a tíhové síly po vyvážení	46
6.3	Výpočet potřebného tahu pohonu určeného k ponoru	46
6.4	Návrh pohonu hloubkového kormidla	47
6.5	Návrh klikového mechanismu a pohonu.....	48
6.6	Návrh a výpočet spoje pro přenos krouticího momentu z hřídele na náboj.....	50
6.7	Výpočet odporových sil působících proti pohybu	51
7	Řídicí systém a senzorické vybavení podvodního robotu.....	54
7.1	Popis schéma zapojení	55
7.2	Maximální spotřeba proudu	56
7.3	Návrh kabelu	56
7.4	Návrh zdroje napájení	57
7.5	Odstranění vlhkosti	57
8	Odhadována cena servisního robotu.....	58
9	Závěr	58
10	Reference	61
10.1	Použitá literatura.....	61
10.2	Internetové zdroje	61
10.3	Katalogy	63
11	Seznam příloh.....	64
11.1	Dokumentace	64
11.2	Přiložený disk	64

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotky
b	Šířka pera	$[m]$
C_n	Celkový odporový součinitel	$[-]$
C_x	Odporový součinitel	$[-]$
d_h	Průměr hřídele	$[m]$
g	Tíhové zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
h	Pracovní hloubka	$[m]$
F_1	Síla působící na pero	$[N]$
F_2	Síla působící na pero	$[N]$
F_{ck}	Fiktivní celková síla hloubkové klapky	$[N]$
F_{csk}	Fiktivní celková síla směrové klapky	$[N]$
F_{co}	Celková odporová síla	$[N]$
F_{Nk}	Odporová síla hloubkové klapky	$[N]$
F_{Nsk}	Odporová síla směrové klapky	$[N]$
F_o	Síla v ojnici	$[N]$
F_p	Síla na pístu hloubkové klapky	$[N]$
F_{psk}	Síla na pístu směrové klapky	$[N]$
F_{RN}	Rozdílová síla nevyváženého robotu	$[N]$
F_{RV}	Rozdílová síla vyváženého robotu	$[N]$
F_t	Tangenciální síla na klíce	$[N]$
F_T	Tíhová síla	$[N]$
F_{TN}	Tíhová síla nevyváženého robotu	$[N]$
F_{TV}	Tíhová síla vyváženého robotu	$[N]$
F_{VZ}	Vztlaková síla	$[N]$
F_{VZN}	Vztlaková síla nevyváženého robotu	$[N]$
F_{VZV}	Vztlaková síla vyváženého robotu	$[N]$
k	Koeficient přidavných odporových sil	$[-]$
k_e	Bezpečnost vůči mezi kluzu	$[-]$
L	Délka hloubkové klapky	$[m]$
L_{sk}	Délka směrové klapky	$[m]$
l	Délka ojnicního ramene hloubkové klapky	$[m]$
l'	Účinná délka pera	$[m]$

Značka	Význam	Jednotky
l_p	Potřebná délka pera	$[m]$
L_{sk}	Délka směrové klapky	$[m]$
M_{hk}	Moment hloubkové klapky	$[N \cdot m]$
m_{RN}	Hmotnost nevyváženého robotu	$[kg]$
m_{RV}	Hmotnost vyváženého robotu	$[kg]$
M_{sk}	Moment směrové klapky	$[N \cdot m]$
P_1	Tlak	$[Pa]$
P_2	Tlak	$[Pa]$
P_D	Dovolený tlak	$[Pa]$
P_o	Atmosférický tlak	$[Pa]$
P_h	Hydrostatický tlak	$[Pa]$
r	Délka klikového ramene hloubkové klapky	$[m]$
r_{sk}	Délka klikového ramene směrové klapky	$[m]$
R_{eH}	Mez kluzu hřídele	$[Pa]$
S_{hk}	Plocha hloubkové klapky	$[m^2]$
S_{sk}	Plocha směrové klapky	$[m^2]$
S_x	Oporová plocha	$[m^2]$
t	Hloubka drážky v hřídeli	$[m]$
T	Tah pohonu	$[N]$
t_1	Hloubka drážky v náboji	$[m]$
V_P	Objem plováku	$[m^3]$
v_R	Rychlost robotu	$[m \cdot s^{-1}]$
V_{RN}	Objem nevyváženého robotu	$[m^3]$
V_{RV}	Objem robotu po vyvážení	$[m^3]$
α	Úhel pootočení kliky	$[^\circ]$
β	Dopočítaný úhel	$[^\circ]$
λ	Klikový poměr	$[-]$
ρ	Hustota vody	$[kg \cdot m^{-3}]$
τ	Napětí v krutu	$[Pa]$

Úvod

V současné době jsou podvodní servisní roboty zastoupeny v řadě činností, které jsou bez jejich použití nemyslitelné. Jedná se především o průzkum mořského dna moří a oceánu, servisní činnosti na podmořských zařízeních a oblasti zamořené radiací či jinak nebezpečných látek člověku. Podvodní roboty mohou svou činnost vykonávat autonomně, což znamená, že se dokážou samy rozhodovat o pohybu v daném prostředí nebo jsou řízeny pomocí operátora, který je na svém stanovišti (např. loď) a robot je k tomuto stanovišti připojen pomocí kabelu. Podvodní servisní roboty jsou v různých výkonových velikostech, od malých inspekčních robotů, přes několik set kilogramů vážící roboty s manipulátory, až k mnoha tunovým robotům k pokládání podvodních kabelů a potrubí.

Práce je zaměřená na analýzu podvodních servisních robotů a návrh funkčního podvodního servisního robotu k provádění monitorovací činnosti a sběru vzorků.

1 Analýza podvodních servisních robotů

1.1 Oblast využití podvodních servisních robotů

Hlavní oblastí využití podvodních servisních robotů je podmořský výzkum. Vědci využívají servisní roboty nejčastěji k monitorování korálových útesů, průzkumu dna oceánů a moří nebo sběru různých vzorků. K těmto servisním činnostem využívají dálkově ovládané roboty nebo autonomní roboty, které dokážou sbírat informace několik hodin nebo dní.

Další důležitou oblastí nasazení podvodních servisních robotů je těžební a energetický průmysl. Společnosti, které mají své zařízení v mořích, oceánech nebo jiných vodních plochách musí zajišťovat pravidelnou servisní prohlídku nebo případné opravy na svých zařízeních. Většina těchto zařízení se nachází ve velkých hloubkách, silných vodních proudech apod., kde by bylo využití potápěčů velmi nebezpečné.

Poslední oblastí využití servisních robotů je ve vojenském sektoru. Největší zastoupení servisních robotů má armáda Spojených států amerických, která investuje spoustu finančních prostředků na vývoj podvodních robotických systémů. Hlavní využití v armádě je vyhledávání a zneškodňování podmořských min.

1.2 Rozdělení servisních robotů pro práci pod vodou

Podvodní roboty jsou v dnešní době většinou řešeny bez účasti posádky. Rozdělujeme je do dvou skupin podle závislosti na operátorovi v reálném čase. První skupinou jsou roboty ovládané na dálky pomocí kabelu, který propojuje robot s řídicím střediskem. Takovéto podvodní roboty označujeme jako ROV (Remotely Operated Vehicle). Druhou skupinou jsou autonomní roboty, které jsou vybaveny vlastní zdrojem napájení a samostatně se orientují v prostředí, označujeme je AUV (Autonomous Underwater Vehicles).

1.2.1 Autonomní podvodní plavidlo AUV

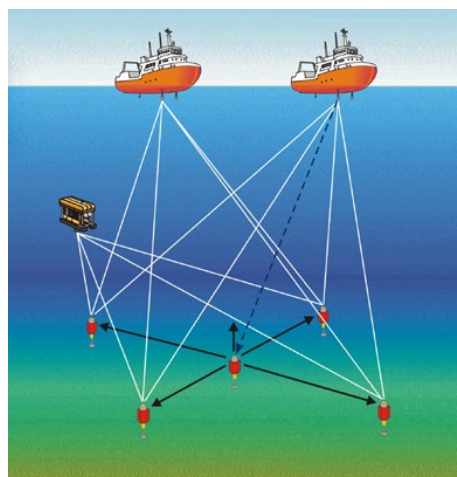
Vývoj AUV započal koncem padesátých let. Prvním autonomně řízeným robotem byl „*SPURV*“ vyvinutý na univerzitě ve Washingtonu. Následovalo je mnoho dalších institucí a států včetně bývalého Sovětského svazu.

AUV (obr. 1) je druh robotu, který má vlastní zdroj napájení, samostatně se orientuje a je předem naprogramován pro určitý druh činnosti. Mezi tyto činnosti může patřit mapování mořského dna, inspekce ropovodu, vyhledávání podmořských min, apod. Elektrickou energii autonomnímu robotu poskytují výkonné a přitom lehké lithiové baterie v silikonovém obalu. Novější typy AUV jsou vybaveny solárními panely pro dobíjení baterií. Design většiny AUV je inspirován tvarem torpéda a mohou být dlouhá až několik metrů. [7]



Obr. 1 – Autonomní podvodní plavidlo

Podvodní akustický navigační systém (obr. 2) je systém pro sledování a navigaci podvodních vozidel nebo potápěčů. Tento systém určování polohy funguje na principu rozmístění vysílačů po mořském dně nebo hladině. Robot měří akustickou vzdálenost a směr mezi vysílači a určí svou polohu pomocí triangulace. Podvodní akustický systém se běžně používá při záchranných operacích, námořní archeologii nebo pro vojenské účely. [8]



Obr. 2 – Podvodní akustický navigační systém

1.2.2 Dálkově ovládané plavidlo ROV

První dálkově ovládaný robot po kabelu byl sestaven Dimitrim Rebokoffem v roce 1953 pod názvem „POODLE“. Nejvíce se na rozvoji této technologie zasloužilo Námořnictvo Spojených států, které potřebovalo operátorem řízené vozidlo pro získávání vojenských zařízení z moří, které se ztratily během testů. ROV se nejvíce proslavil vyzvednutím atomové bomby u břehu Španělska, kde havaroval americký bombardér B-52.

Podvodní dálkově řízené roboty (obr. 3) jsou řízeny se zpětnou vazbou, pomocí řídicího systému nižší úrovně, který se nachází uvnitř skeletu robotu a ovládá přímo pohonné jednotky. Nižší úroveň řízení je pomocí kabelu propojena s vyšší úrovní řízení, kterou ovládá operátor a nachází se většinou na mateřské lodi. Dálkově ovládané roboty jsou do značné míry při své činnosti omezeny hmotností a délkou kabelu, která je kontrolována navíjecím mechanismem. V případě poruchy je možné za tento kabel ponorku vytáhnout. V současnosti se ROV běžně používají při nejrozličnějších servisních, inspekčních a výzkumných činnostech.

ROV systémy se vyrábějí od malých inspekčních robotů s kamerovým systémem, až po velké konstrukčně složité roboty vybavené několika manipulátory, nářadím a dalším vybavením. Některé typy robotů mohou být vybaveny pásovým podvozkem, pro vykonávání své činnosti. [9]



Obr. 3 – Dálkově ovládané plavidla

1.3 Výběr dostupných ROV

Videoray Pro 3 E

Roboty Pro series jsou nejoblíbenějšími modely pro komerční nebo nenáročné aplikace. Vyznačují se malými rozměry a hmotností. Všechny Pro modely mají otevřenou architekturu, která umožňuje doplnit robot senzory nebo nástroji. Robot je vybaven širokoúhlou barevnou kamerou, která se může naklánět o 180°. Dále je robot vybaven dvěma LED světly, které se v případě snížené viditelnosti rozsvítí. [10]



Obr. 4 - Robot Videoray Pro 3 E

Základní parametry robotu	
Rozměry D/Š/V	21 / 22,5 / 30,5 cm
Hmotnost	3,8 kg
Rychlost	2,6 uzlů
Hloubka	152 m

Tab. 1 – Parametry robotu Videoray Pro 3 E

Nova Ray

Hydrodynamická konstrukce robotu využívá proud vody k udržení kontroly za měnících se provozních podmínek a umožňuje být vlečen za lodí. Konstrukce působí proti zvedací síle, kterou vyvozuje napájecí kabel. Hlavní předností Nova Ray je vysoká manévrovací schopnost, kterou využívá například při průzkumu členitého dna. Robot je vybaven



Obr. 5 – Robot Nova Ray

kamerovým systémem a lze ho také doplnit dalšími senzory. [11]

Základní parametry robotu	
Rozměry D/Š/V	102,2 / 99,7 / 29,9 cm
Hmotnost	25,5 kg
Rychlost	4-6 uzlů
Hloubka	305 m

Tab. 2 – Parametry robotu Nova Ray

Super Mohawk II

Super Mohawk II je robustní, odolný a dlouhodobě osvědčený ROV systém určený pro vysoké zatížení. Mohawk je zařazený do střední výkonové kategorie. Robot je vybaven dvojicí manipulačních ramen, kamerou s HD rozlišením, spoustou senzorů a plovákem, který zajišťuje dostatečný vztlak. Řídicí systém subCAN poskytuje pokročilou diagnostiku, přesnou kontrolu robotu a snižuje náklady na provoz. [12]



Obr. 6 – Robot Super Mohawk II

Základní parametry robotu	
Rozměry D/Š/V	1,4 / 0,9 / 0,85 m
Hmotnost	395 kg
Hloubka	2000 m
Rychlost	3 uzly
Napájení	440 V AC

Tab. 3 – Parametry robotu Super Mohawk II

Millennium Plus

Millennium Plus je jedním z největších dálkově ovládaným robotem ve své kategorii. Je vybaven dvojicí manipulátorů o celkovém výkonu 220 HP. K přenosu videa a spojení datových signálů mezi robotem a mateřskou lodí je použit optický kabel. Robot má velký plovák upevněný na hliníkovém rámu, který zajišťuje dostatečný vztlak. Hlavní oblastí využití je provádění servisních činností na podmořských zařízeních. [13]



Obr. 7 – Robot Millennium Plus s manipulačními rameny

Základní parametry robotu	
Rozměry D/Š/V	3,3 / 1,52 / 1,8 m
Hmotnost	3990 kg
Hloubka	3048 m
Hydraulický výkon	2 x 110 HP
Napájení	110 V AC

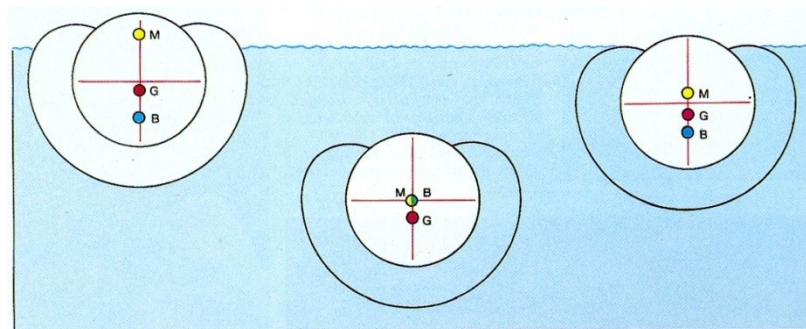
Tab. 4 – Parametry robotu Millennium Plus

1.4 Stabilita

Zejména u robotu válcovitého nebo kapkovitého tvaru je důležité věnovat se stabilizaci. Kdybychom opomenuli stabilizaci u těchto tvarů, mělo by to za následek převrácení jak na vodní hladině, tak i pod hladinou. Důsledkem převrácení může být ztráta přehledu o vodní hladině, dezorientace systému apod.

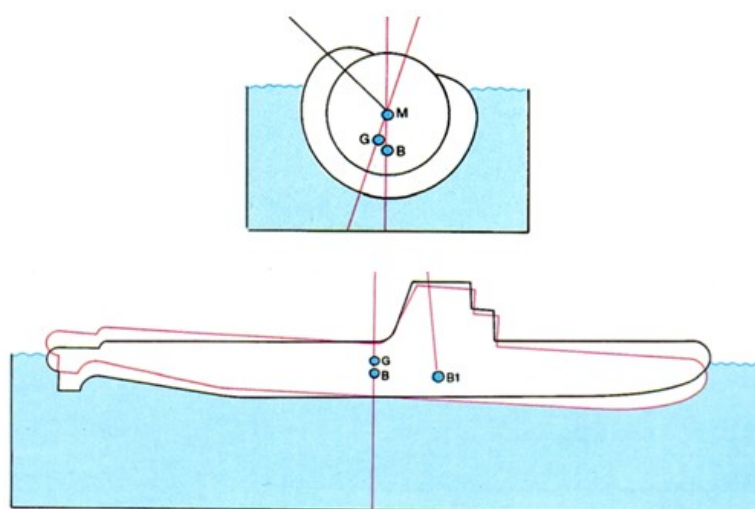
Robot se při plavbě na hladině chová podobně jako hladinové plavidlo. Bod vztaku (B) a těžiště (M, G) vůči sobě zaujímají stejnou relativní polohu. U plně ponořeného robotu (obr. 8 uprostřed) nedochází k posuvu bodů působením vztaku, protože celý objem robotu je pod hladinou. Pro stabilnější plavbu pod hladinou je nutné, aby

hmotné těžiště (G) leželo pod bodem (B). Jak ukazuje obrázek (obr. 8) u robotu na hladině (vlevo), je bod (B) pod bodem (G), které se nachází v pevném bodě mírně pod podélnou osou robotu. Bod (M) leží mnohem výše. Při ponořování robotu (obr. 8 uprostřed) se body (B) a (M) k sobě přibližují, až se nakonec setkají na podélné ose. Během ponořování je nejkritičtější okamžik, kdy polohy bodů (B) a (M) spolu splývají. V tu chvíli je stabilita robotu nejmenší.



Obr. 8 – Stabilita při ponořování a vynořování

Robot plující na hladině má větší stabilitu v podélné ose než v příčné rovině. Na obrázku (obr. 9) je zobrazena situace při stejné hodnotě úhlu náklonu kolem podélné a příčné osy. Při náklonu kolem podélné osy se bod působení vztlaku (B) posune minimálně, zatímco se při náklonu kolem příčné osy bod (B) posune o větší vzdálenost z důvodu většího objemu vytlačené vody. [14]



Obr. 9 - Situace při stejné hodnotě úhlu náklonu kolem podélné a příčné osy

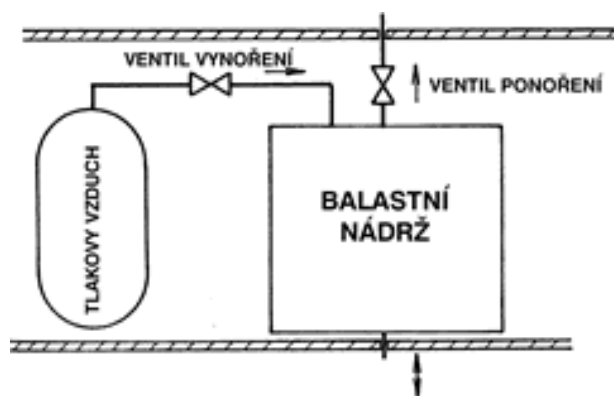
1.5 Ponoření, vynoření a regulace hloubky ponoru

1.5.1 Ponoření pomocí motorů

Nejčastěji se ponor u robotických ponorek uskutečňuje pomocí motorů. Motory vytvářejí tah v ose ponoru a tím tlačí ponorku směrem ke dnu. Tento systém ponoru je velice jednoduchý, efektivní a spolehlivý. Nevýhodou je neustálý běh motorů, aby robot mohl držet danou hloubku. S tím je spojená značná spotřeba energie, což je zvláště nevyhovující u robotů, které nejsou napájeny pomocí kabelu. Samozřejmě platí, že čím větší robot a tudíž i vztlak na něj působí, tím větší výkon je potřeba na ponoření. Snížení spotřeby energie lze dosáhnout tak, že rozdíl mezi vztlakovou a tíhovou silou bude minimální za předpokladu, že bude stále platit $F_{VZ} > F_t$.

1.5.2 Ponoření za použití balastních nádrží

Balastní nádrž (obr. 10) je prostor v ponorce, který se v případě ponoření naplní vodou a v případě vynoření naplní vzduchem. Díky balastním nádržím může ponorka stoupat nebo klesat kolmo k vodní hladině. Aby nedocházelo k náklonu ponorky, musí být balastní nádrže navrženy tak, aby neměnily těžiště ponorky při napouštění nebo vypouštění. Pokud známe hustotu vody, ve které se bude ponorka ponořovat, můžeme pomocí balastních nádrží přesně držet hloubku. Je to dané vztlakovou silou, která dosáhne rovnováhy se součtem tíhové síly tělesa a síly vyvolané vodním sloupcem nad tělesem. Tento princip umožňuje jednoduší ovládání ponoru a minimalizuje spotřebu energie k udržení dané hloubky.



Obr. 10 – Schéma principu balastní nádrže

1.6 Zdroje energie podvodních robotů

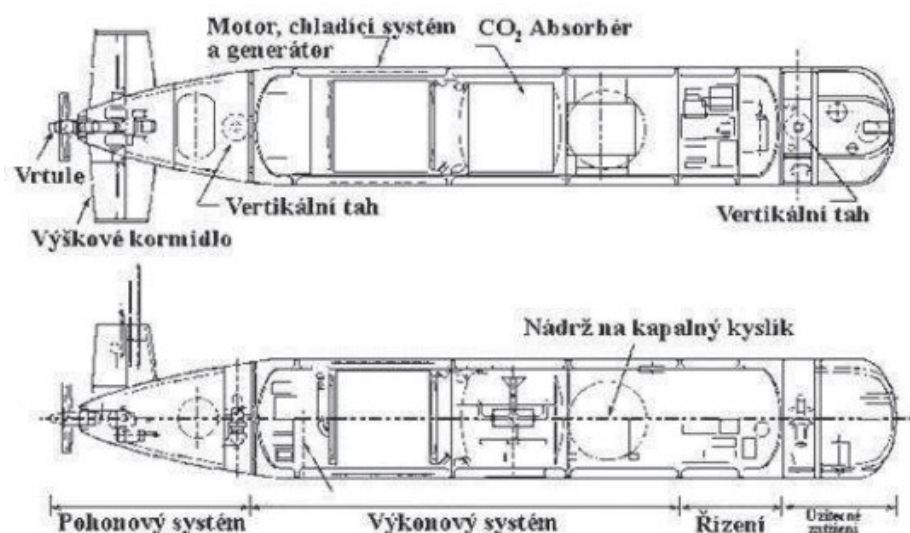
Ve většině případů je zdrojem energie podvodního robotu elektrické napájení. Podle druhu prováděné činnosti je vhodné zvolit druh napájení robotů. Od tohoto se bude vyvíjet konstrukce, apod.

1.6.1 Napájení pomocí kabelu

Kabelově řízený robot je napájen pomocí kabelu, kterým je vedeno napájení i řízení z lodi do robotu. Roboty jsou většinou vybaveny malým akumulátorem pro případ výpadku proudu, aby mohl v nouzovém stavu vyplout na hladinu. Napájení po kabelu je využíváno u dálkově řízených robotů.

1.6.2 Spalovací motor

Pro mise trvající déle než 24 hodin, byl v Japonsku vyvinut systém CCDE (Closed Cycle Diesel Engine). V tomto systému jsou spaliny od motoru zpětně přiváděny k sání motoru, poté co jsou ve filtrační jednotce ochlazeny, zbaveny pevných částí a následně obohaceny kyslíkem. Na obrázku (obr. 11) je znázorněn pohonný systém robotu R1, využívající systém CCDE. [15]



Obr. 11 – Pohonný systém robotu R1

1.6.3 Akumulátor

Akumulátory se vyskytují téměř ve všech podvodních robotech. Nejčastěji se používají jako hlavní zdroj napájení u AUV. Mohou však sloužit i jako záložní zdroj a při výpadku hlavního zdroje pomohou vynoření ponorky na hladinu

Nejčastěji používaným druhem akumulátoru je olověný, který má výhodu velké kapacity a životnosti. Dále je možno využít modelářských baterií NiCd a MiMH. Pokud bychom chtěli, aby byl robot schopný vykonávat svou činnost co nejdéle, musíme zajistit dobíjení akumulátoru v prostředí, ve kterém se nachází. K dobíjení můžeme využít světlo nebo teplo z prostředí.

1.6.4 Solární dobíjení

Tato metoda dobíjení je často využívána u AUV, které vykonávají svou činnost dlouhodobě. Aby došlo k dobíjení akumulátoru pomocí fotovoltaických článků, je zapotřebí, aby robot vystoupal k hladině (obr. 12). Nevýhodou této metody je potřeba čistoty fotovoltaických článků, na níž je závislá účinnost dobíjení a potřeba sluneční energie. [16]



Obr. 12 – Autonomní robot vybaven solárními panely

2 Požadavkový list

Požadavek	Popis
Oblast použití	Monitorovací činnost, odběr vzorků
Způsob napájení	Napájení pomocí kabelu
Operativní doba	2 hodiny
Požadovaná rychlost	Max. 1,3 m/s
Maximální operativní hloubka	80 metrů
Délka kabelu	Min. 120 metrů
Monitorovací zařízení	Kamera s pohybem ve dvou osách
Charakter vodního prostředí	Sladkovodní a mořské prostředí
Další požadavky	Odběr vzorků 2D sonar

Tab. 5 – Požadavky na podvodní servisní robot

3 Varianty řešení

3.1 Odběr vzorků

Podvodní servisní robot musí být dle zadání vybaven zařízením, které umožňuje odběr vzorků. Vhodným vzorkem, který se dá odebírat z vodního prostředí servisním robotem je plankton. Plankton je soubor mikroskopických živých organismů, které se pasivně vznášejí v prostředí. Podle složení se rozděluje na:

- Fytoplankton – plankton rostlinný (řasy a sinice)
- Zooplankton – plankton živočišný (drobní živočichové)

Další a důležitější dělení je podle velikosti:

Název skupiny	Velikost	Příklad skupiny
Megaplankton	20+ mm	Živočichové
Makroplankton	2 - 20 mm	Drobní živočichové
Mezoplankton	0,2 - 2 mm	Drobní živočichové
Mikroplankton	20 - 200 μ m	Řasy, drobní korýši
Nanoplankton	2 - 20 μ m	Drobní prvoci a řasy
Pikoplankton	0,2 - 2 μ m	Bakterie a drobní prvoci
Femtoplankton	< 0,2 μ m	viry

Tab. 6 - Dělení planktonu podle velikosti

Odběr planktonu se uskutečňuje pomocí vlečné sítě (obr. 13), která má na konci nádobku, ve které se shromažďuje vzorek. Velikost oka sítě je zvolena 1 mm, aby byl odpor sítě co nejmenší.

Parametry planktonové sítě	
Vstupní průměr	20 cm
Délka sítě	90 cm
Objem nádoby	750 ml
Velikost oka	1 mm

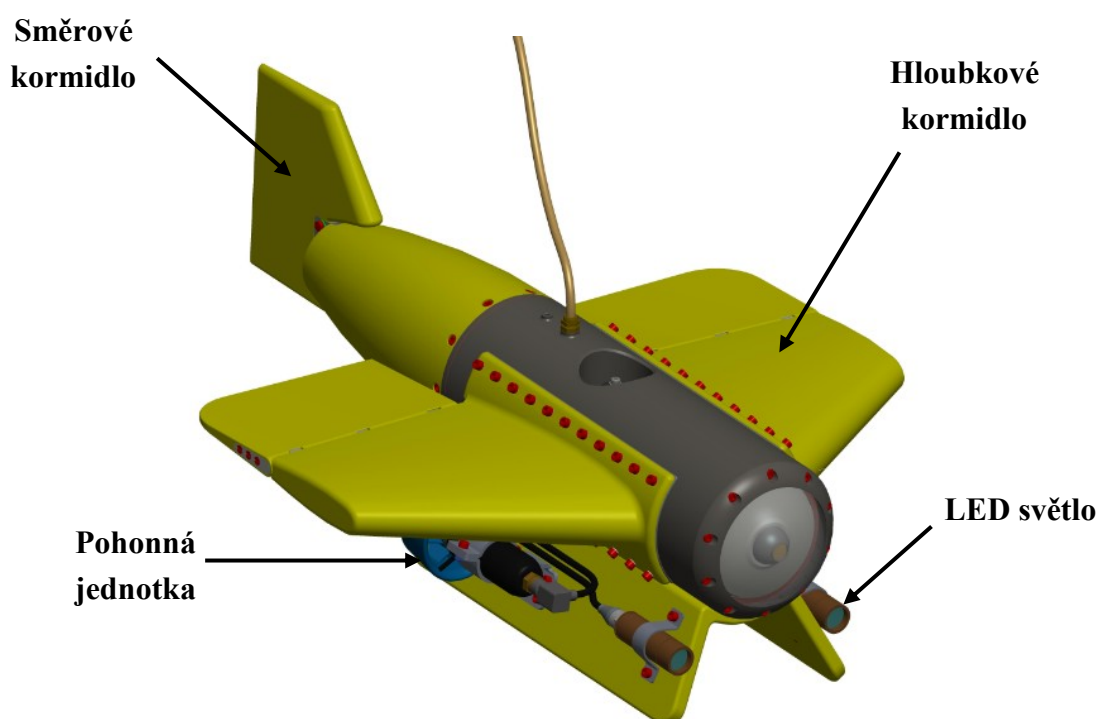
Tab. 7 - Parametry planktonové sítě



Obr. 13 – Vlečná planktonová síť

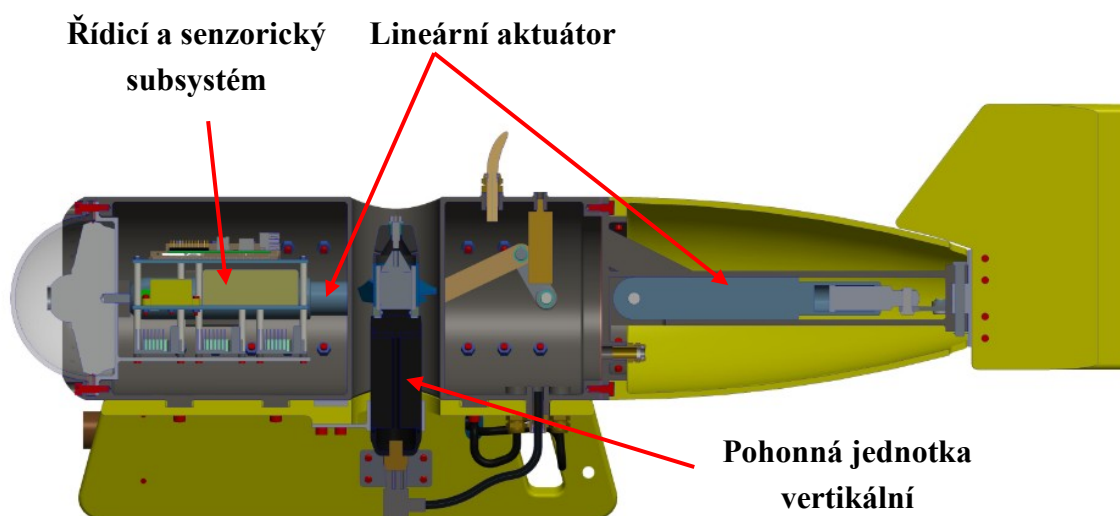
3.2 Varianta A

Toto konstrukční provedení podvodního servisního robotu (obr. 14), má dobré manévrovací schopnosti dané použitím hloubkových kormidel a směrového kormidla. Hloubkové kormidlo se skládá z křídla a klapky, která umožňuje svým natočením měnit hloubku. Na obdobném principu pracuje směrové kormidlo. Hloubkové kormidlo rovněž plní roli plováku a je k trupu robotu upevněno šrouby. Pohyb vpřed zajišťují dvě výkonné pohonné jednotky. K pohybu, který je kolmý k vodní hladině slouží pohon umístěny v trupu robotu. Všechny zvolené pohonné jednotky jsou od firmy Tecnydyne. Při snížené viditelnosti je možnost přisvícení dvěma LED světly. K vizualizaci prostředí slouží kamera s pohybem ve dvou osách.



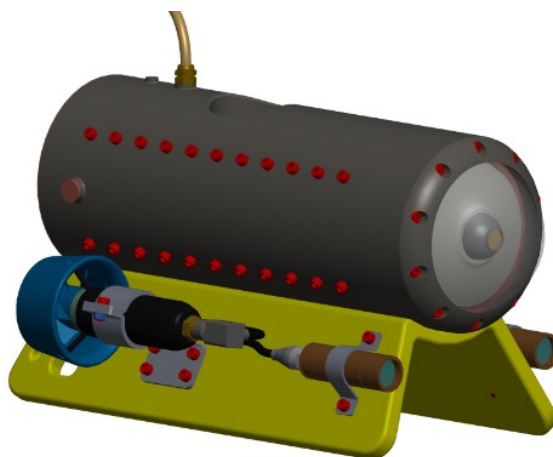
Obr. 14 – Servisní robot varianta A

Pohon, který natáčí klapkou hloubkového nebo směrového kormidla je lineární aktuátor (obr. 15). K převodu lineárního pohybu aktuátoru na rotační pohyb klapky slouží klikový mechanismus. Senzorický a řídicí subsystém robotu je umístěn v trupu. Z důvodu snížení hmotnosti celého robotu je materiál trupu slitina hliníku. Hloubkové kormidla i směrové kormidlo a nosný rám jsou z technického plastu. Zbylé komponenty jsou z nerezové oceli.



Obr. 15 - Řez robotu varianty A

Servisní robot lze podle potřeby upravit pro určitou aplikaci. Například pro průzkum podvodních jeskynních systémů, lze z robotu odejmout hloubková kormidla a zád' robotu, aby se minimalizovaly jeho rozměry (obr. 16).



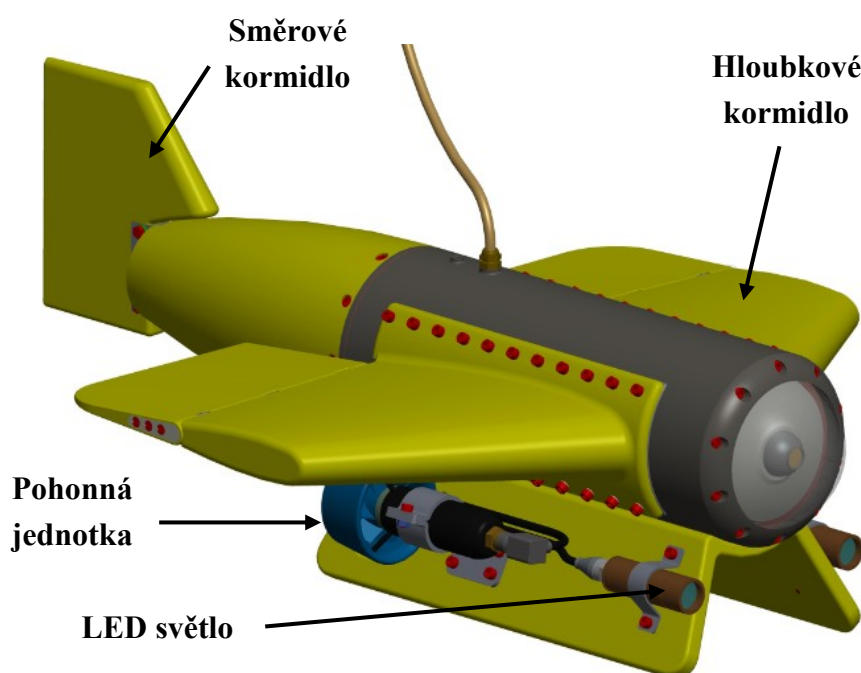
Obr. 16 - Zkrácena varianta

Základní parametry:

Výška / šířka / délka:	355 / 660 / 920 mm
Hmotnost:	21,7 kg
Energie:	elektrická

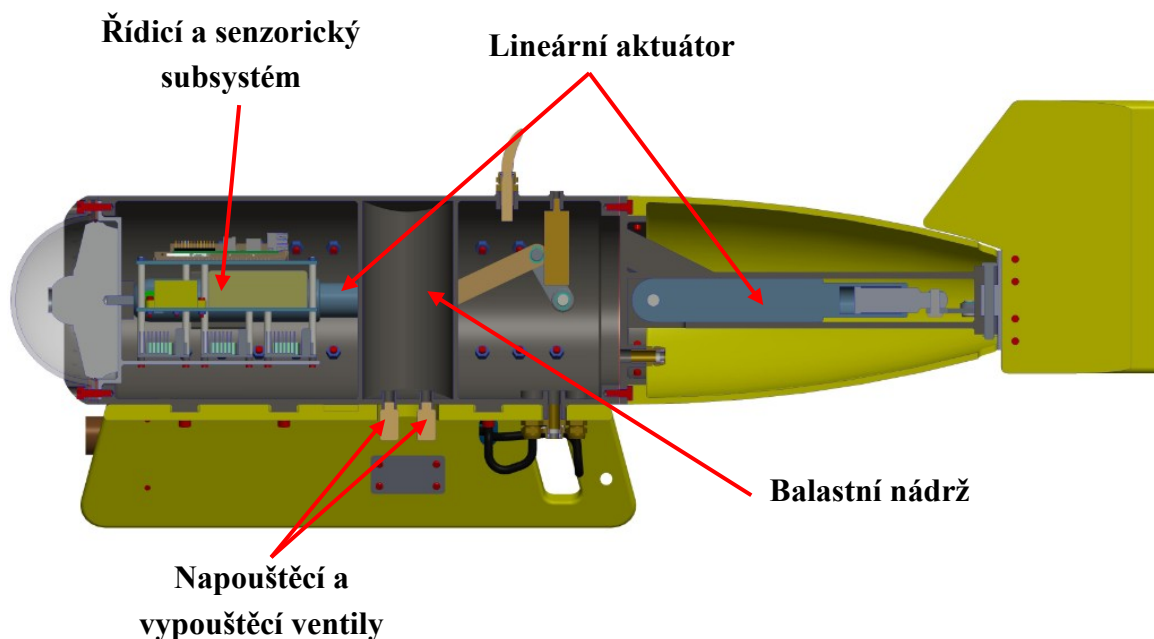
3.3 Varianta B

Konstrukční provedení této varianty (obr. 17) je velice podobné variantě A. Robot rovněž využívá ke zlepšení manévrovacích schopností hloubková kormidla a směrové kormidlo. Pohyb v horizontálním směru zajišťují dvě pohonné jednotky od firmy Tecnydyne. K pohybu, který je kolmý k vodní hladině a k držení dané hloubky je použita balastní nádrž. Při snížené viditelnosti je možnost přisvícení dvěma LED světly. K vizualizaci prostředí slouží kamera s pohybem ve dvou osách.



Obr. 17 – Servisní robot varianta B

Balastní nádrž (obr. 18), která je uvnitř trupu, je vybavena napouštěcím a vypouštěcím servoventilem, kterým můžeme řídit množství vody v balastní nádrži, a tím spjatou změnu hloubky robotu. Stlačený vzduch, který je potřebný k vypouštění balastní nádrže, je dopravován hadicí z mateřské lodi do robotu. Pohon, který natáčí klapkou hloubkového nebo směrového kormidla je lineární aktuátor. K převodu lineárního pohybu aktuátoru na rotační pohyb klapky slouží klikový mechanismus. Sensorický a řídicí subsystém robotu je uchycen k trupu. Použité materiály jsou převážně technický plast, slitina hliníku a nerezová ocel.



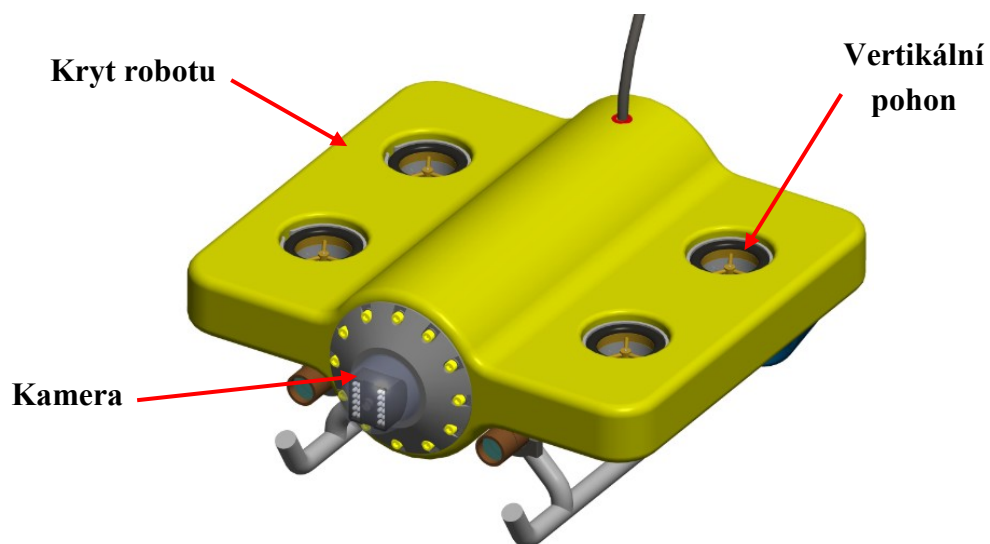
Obr. 18 - Řez robotu varianty B

Základní parametry:

Výška / šířka / délka:	355 / 660 / 920 mm
Hmotnost:	23 kg
Energie:	elektrická, stlačený vzduch

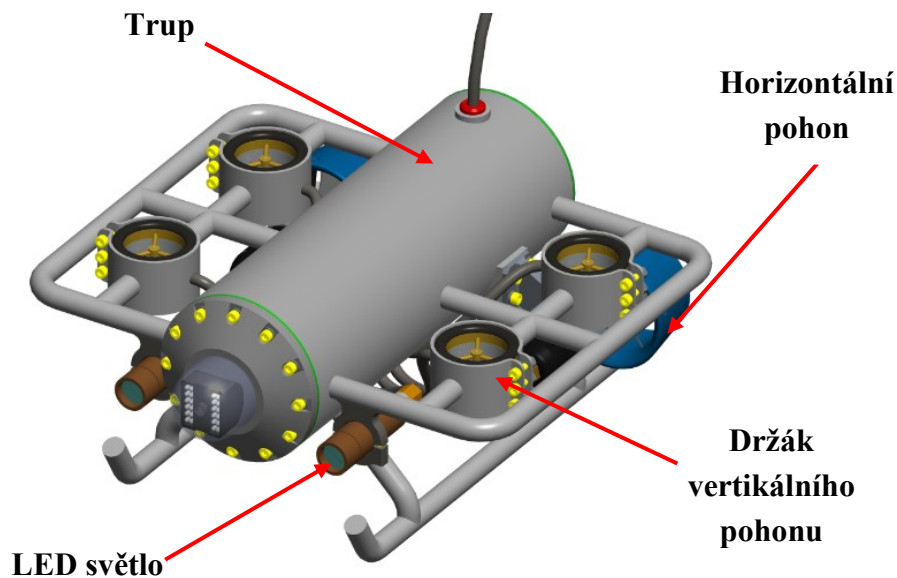
3.4 Varianta C

Design podvodního servisního robotu (obr. 19) je v této variantě jiný oproti předchozím dvěma variantám. Navržený design robotu má za následek vyšší odporovou sílu, která se projevila ve volbě výkonnějšího pohonu. K pohybu v horizontálním směru jsou použity dva pohony umístěny v zadní části robotu. Hloubka a ponor robotu jsou řízeny čtyřmi pohony, které vytvářejí tah ve směru ponoru. Pohony musí být zapnuté během celé délky mise, což má značný vliv na spotřebu energie. K vizualizaci prostředí je použita kamera umístěná v přední části robotu a při snížené viditelnosti se rozsvítí LED světla.



Obr. 19 - Servisní robot varianta C

Elektronika robotu je umístěná v trupu (obr. 20) a utěsněná na jednom konci přírubou a druhém konci kopulí. K trupu jsou přivařeny ohýbané trubky, ke kterým jsou svařeny držáky vertikálních pohonů, a kryt robotu je k těmto trubkám uchycen. Použité materiály jsou převážně hliník a technický plast z důvodu minimalizace hmotnosti. Spojovací materiál je z nerezové oceli.



Obr. 20 - Servisní robot varianty C, bez krytu robotu

Základní parametry:

Výška / šířka / délka:	330 / 450 / 600 mm
Hmotnost:	20,3 kg
Energie:	elektrická

3.5 Porovnání jednotlivých návrhů

Varianta A	
Výhody	<ul style="list-style-type: none">➤ Vysoká stabilita➤ Nízký součinitel odporu➤ Dobré manévrovací schopnosti➤ Možnost přizpůsobení robotu dané aplikaci➤ Velikost odporové síly
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none">➤ Vyšší počet řízených parametrů➤ Složitější konstrukce
Varianta B	
Výhody	<ul style="list-style-type: none">➤ Vysoká stabilita➤ Nízká energetická náročnost➤ Dobré manévrovací schopnosti➤ Velikost odporové síly
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none">➤ Konstrukční složitost balastní nádrže➤ Vyšší počet řízených parametrů➤ Nutnost stlačeného vzduchu➤ Vyšší hmotnost
Varianta C	
Výhody	<ul style="list-style-type: none">➤ Jednodušší konstrukční řešení➤ Rozměry➤ Hmotnost
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none">➤ Vysoká energetická náročnost➤ Nedostatečně rychlá manévrovací schopnost➤ Velikost odporové síly

Tab. 8 - Porovnání výhod a nevýhod jednotlivých variant

4 Hodnotová analýza

Pro vybrání optimální varianty servisního robotu hodnotovou analýzou je použita metoda porovnání v trojúhelníku párů.

4.1 Bodovací stupnice

Pro hodnocení variant v jednotlivých kritériích je použita šestibodová stupnice.

Úroveň kritéria	Hodnota
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 9 - Bodová stupnice hodnocení

4.2 Kritéria hodnocení

Označení kritéria	Kritérium	Popis
K1	Rozměry	Délka, šířka a výška robotu
K2	Hmotnost	Celková hmotnost robotu na souši
K3	Konstrukce	Konstrukční složitost servisního robotu
K4	Energetická náročnost	Spotřeba energie komponentů elektroniky a pohonů
K5	Stabilita	Docílení stability v příčné a podélné ose
K6	Manévrovatelnost	Schopnost ponorky, kvalitně reagovat na změnu pohybu
K7	Náročnost ovládaní	Počet řízených parametrů pro pohyb
K8	Odporová síla	Odporová síla má vliv výkon motoru

Tab. 10 - Hodnotící kritéria

4.3 Porovnání kritérií

V tabulce (Tab. 11) jsou pro jednotlivé varianty konkrétně uvedeny parametry jednotlivých kritérií.

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
K1	Výška/šířka/délka 355/660/920 mm	Výška/šířka/délka 355/660/920 mm	Výška/šířka/délka 330/450/600 mm
K2	21,7 kg	23 kg	20,3 kg
K3	Střední složitost	Vysoká složitost	Střední složitost
K4	Nízká	Střední	Vysoká
K5	Vysoká	Vysoká	Střední
K6	Vysoká	Vysoká	Nízká
K7	Střední	Vysoká	Střední
K8	41 N	45 N	82 N

Tab. 11 - Parametry uvedené u jednotlivých kritérií variant

4.4 Hodnocení kritérií

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
K1	4	4	5
K2	5	4	5
K3	5	4	5
K4	5	4	3
K5	6	5	5
K6	6	6	4
K7	5	4	5
K8	6	6	3

Tab. 12 - Hodnocení jednotlivých kritérií

4.5 Určení významností kritérií

K určení významností kritérií je použita metoda trojúhelníků párů.

Porovnávané páry kritérií							Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	4,5	3	1,875
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8			
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	4	4-5	1,750
	K3	K4	K5	K6	K7	K8			
		K3	K3	K3	K3	K3	1,5	7	1,125
		K4	K5	K6	K7	K8			
			K4	K4	K4	K4	2,5	6	1,375
			K5	K6	K7	K8			
				K5	K5	K5	5	1-2	2
				K6	K7	K8			
					K6	K6	5	1-2	2
					K7	K8			
						K7	1	8	1
						K8	4	4-5	1,750

Tab. 13 - Metoda trojúhelníku párů vypracována autorem

4.6 Hodnocení jednotlivých variant

Kritérium	Varianta A		
	Hodnota	Váha významností	Vážený index kritéria
K1	4	1,875	7,5
K2	5	1,750	8,75
K3	5	1,125	5,625
K4	5	1,375	6,875
K5	6	2	12
K6	6	2	12
K7	5	1	5
K8	6	1,750	10,5
Celkový součet indexů varianty A			68,25

Tab. 14 - Zhodnocení varianty A

Kritérium	Varianta B		
	Hodnota	Váha významností	Vážený index kritéria
K1	4	1,875	7,5
K2	4	1,750	7
K3	4	1,125	4,5
K4	4	1,375	5,5
K5	5	2	10
K6	6	2	12
K7	4	1	4
K8	6	1,750	10,5
Celkový součet indexů varianty B			61

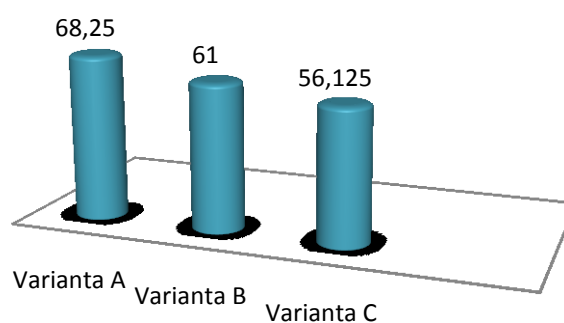
Tab. 15 - Zhodnocení varianty B

Kritérium	Varianta C		
	Hodnota	Váha významností	Vážený index kritéria
K1	5	1,875	9,375
K2	5	1,750	8,75
K3	5	1,125	5,625
K4	3	1,375	4,125
K5	5	2	10
K6	4	2	8
K7	5	1	5
K8	3	1,750	5,25
Celkový součet indexů varianty C			56,125

Tab. 16 – Zhodnocení varianty C

4.7 Vyhodnocení a určení optimální varianty

Po součtu vážených indexů jednotlivých variant je vypracován graf, na kterém je zřejmé, že optimální variantou je podvodní servisní robot varianty A.

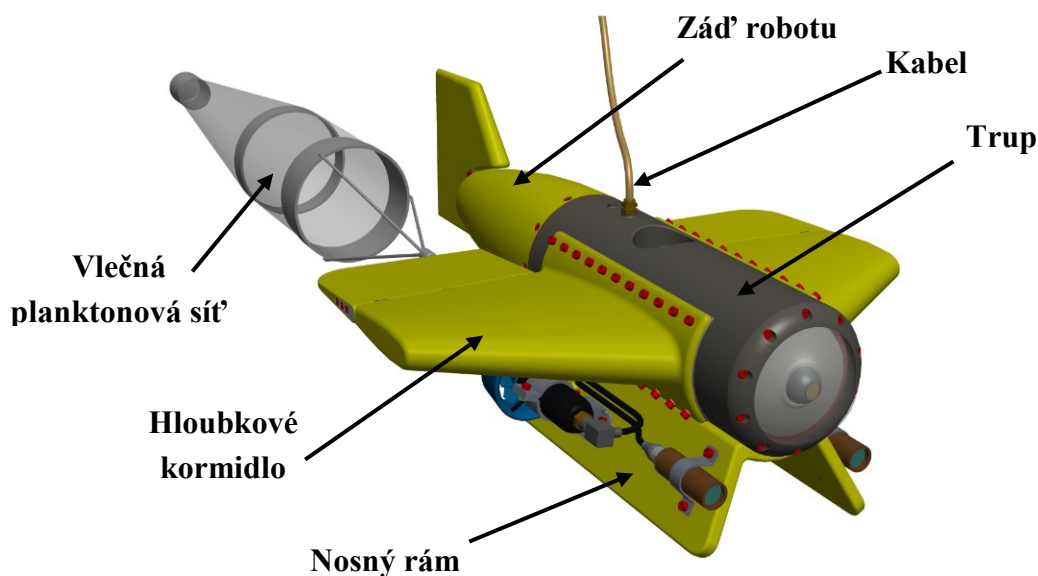


Graf. 1 – Výsledky hodnocení variant řešení

5 Podvodní servisní robot

Navrženou optimální variantu podvodního servisního robotu (obr. 21) pohání v horizontálním směru dvojice pohonu Tecnaďyne 150. K pohybu, který je kolmý k vodní hladině slouží pohon umístěný v trupu robotu. Pro zvýšení manévrovací schopnosti je robot vybaven směrovým a hloubkovými kormidly, které jsou poháněny lineárními aktuátory. Robot se může pohybovat ve sladkovodním i mořském prostředí do maximální hloubky 80 metrů.

Navrženým podvodním robotem lze provádět monitorovací činnost mořských korálů, podvodních zařízení, přehradních hrází apod. pomocí zabudované kamery s pohybem ve dvou osách. V případě nízké viditelnosti si lze přisvítit dvěma LED světly. Dále lze robotem odebírat vzorky, v tomto případě plankton, který je sbírán vlečnou planktonovou sítí. Konstrukci robotu lze podle potřeby a danou aplikaci upravit. Např. pro průzkum podvodních jeskynních systému, lze odstranit křídla a zád' robotu, pro minimalizování rozměrů. Robot je s lodí propojen kabelem.



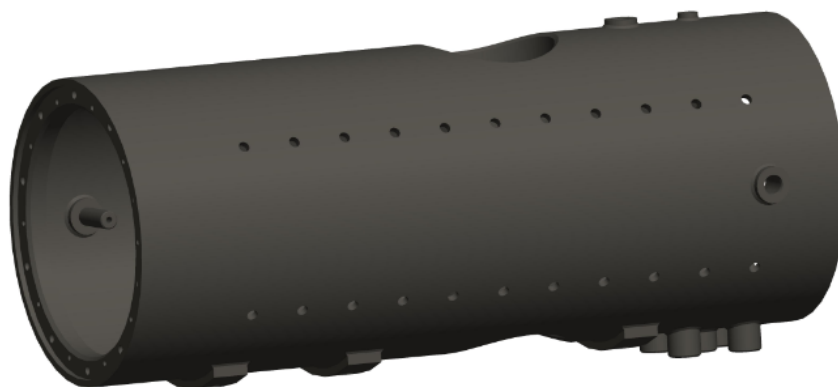
Obr. 21 - Optimální varianta

Základní parametry:

Výška / šířka / délka:	355 / 660 / 920 mm
Hmotnost:	21,7 kg
Energie:	elektrická

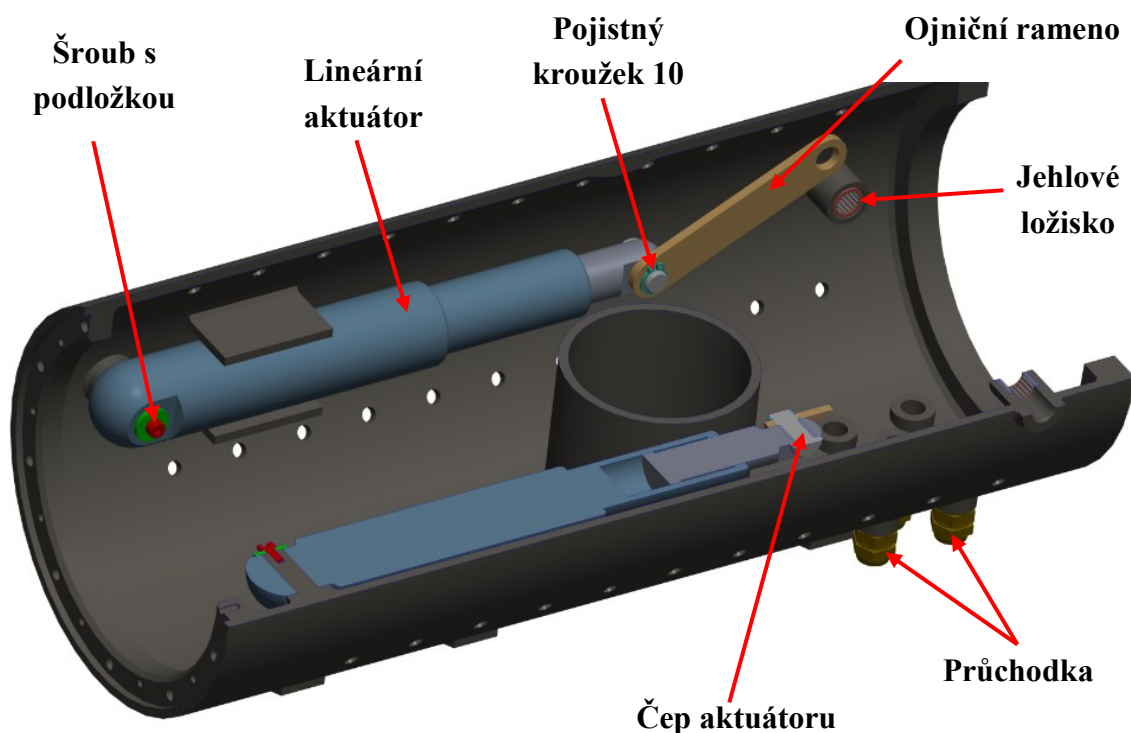
5.1 Trup

Trup (obr. 22) je nosná svařovaná konstrukce servisního robotu. Hlavními prvky jsou trubka a dvě příruby, které mají neprůchozí díry se závity k uchycení kopule, elektroniky a zádi robotu. Trubka má vnější průměr 168 mm, délku 410 mm a stěnu o tloušťce 4 mm. K uchycení hloubkových kormidel jsou v trupu vyvrtány průchozí díry. Skrz trubku trupu je vyfrézován otvor pro vertikální pohon. Do tohoto otvoru je přivařená trubka, která utěsní vnitřní prostor trupu. Ve spodní vnější části trupu je přivařený materiál, který navýší tloušťku trupu a umožní vyvrtání neprůchozích děr se závity, pro uchycení nosného rámu. Z důvodu snížení hmotnosti robotu je materiál trupu anodizovaná slitina hliníku 6061 T6.



Obr. 22 - Trup

K propojení vnitřního prostoru s pohony, světly a lodí jsou použity průchodky (obr. 23) zajišťující IP krytí 68. Průchodky jsou našroubovány do krátkých trubek, které jsou k trupu svařeny. V zadní části trupu jsou svařeny dvě krátké trubky, které umožní vložení hřídel hloubkových kormidel do vnitřního prostoru a spojit hřídel s ojničným ramenem. Dále jsou v těchto trubkách uloženy jehlová ložiska. V trupu jsou na čepech uchyceny dva lineární aktuátory. Aktuátor je zajištěný podložkou a šroubem, který je zašroubován do vyvrtané díry v čepu. K zamezení otáčení aktuátoru při pohybu slouží dvě desky, které jsou k trupu svařeny. Aktuátor je do trupu vkládán s ojničným ramenem, které je s ním spojené čepem a zajištěné pojistným kroužkem 10. [25]



Obr. 23 – Nainstalované komponenty v trupu

5.2 Hlubkové kormidlo

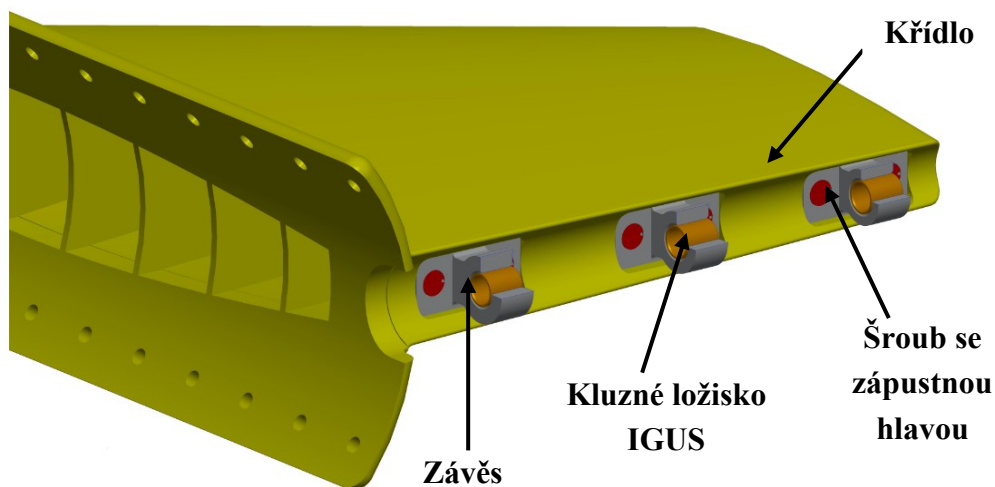
Hlubkové kormidlo (obr. 24) se skládá z křídla a klapky. Materiál křídla i klapky je technický plast PP GF30 (polypropylen s 30 % skleněných vláken), který je nenasákavý, lehčí než ostatní plasty a má velmi dobré mechanické vlastnosti. [26]



Obr. 24 – Hlubkové kormidlo

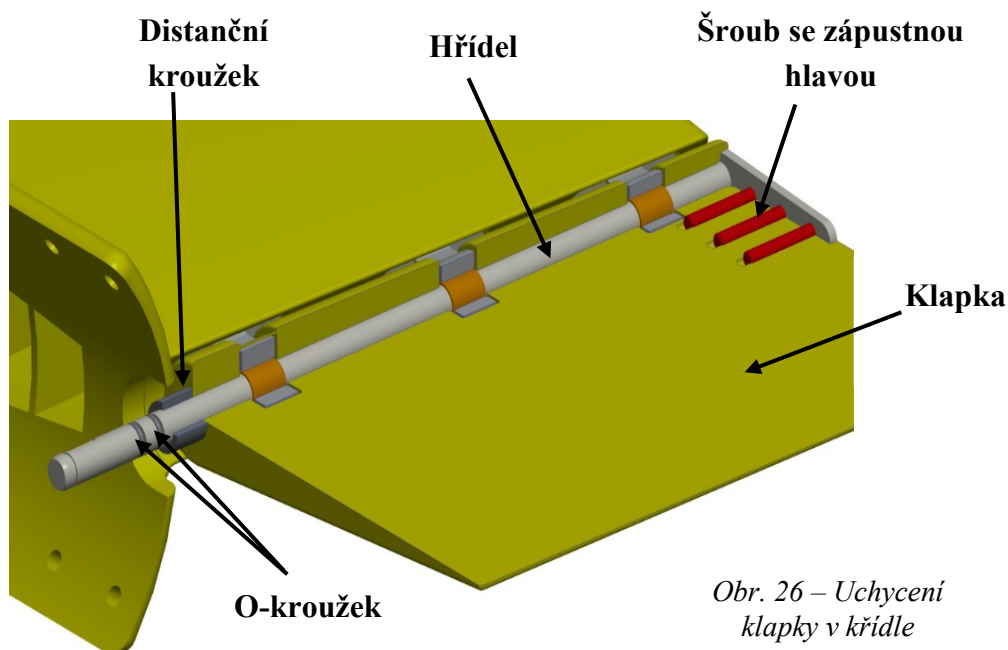
Nosnou částí hloubkového kormidla je křídlo. To je uchyceno k trupu pomocí šroubového spoje (obr. 27). Profil křídla robotu je inspirován profilem křídla letadla. Velikost půdorysné plochy a s tím spjatý celkový objem křídla, je navrhnout, tak aby křídla plnila roli plováku a robot měl v celkovém součtu pozitivní vztlak. Z důvodu snížení hmotnosti je křídlo duté s přepážkami. V zadní části křídla (obr. 25) jsou pomocí dvojice šroubů se zápusťnou hlavou uchyceny závěsy, které drží klapku.

K snížení tření mezi závěsem a hřídelí jsou použity kluzná ložiska IGUS, které vyhovují požadavkům prostředí.



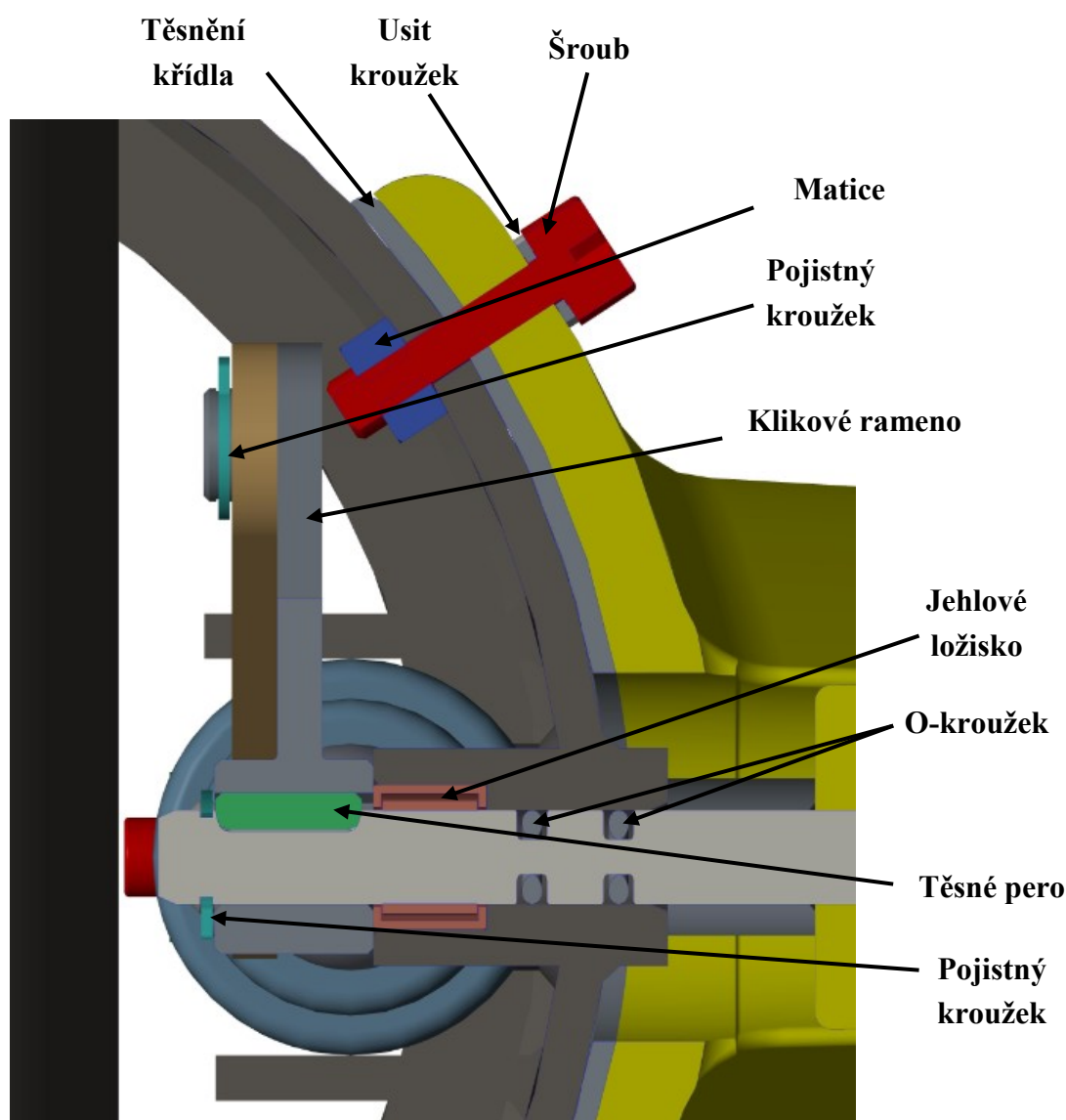
Obr. 25 - Křídlo

Klapku (obr. 26) drží v závěsech hřídel, která je s ní spojena šrouby se zápuštěnou hlavou. Maximální natočení klapky je stanoveno na $\pm 20^\circ$. Natočení klapky o určitý úhel, má za následek změnu hloubky nebo směru robotu. Materiálem závěsů, hřídele, šroubů a podložek je nerezová ocel. Před vložením hřídele do trupu je na hřídel nasazen distanční kroužek a dva těsnící o-kroužky.



Obr. 26 – Uchycení klapky v křídle

Po vložení hřídele do trupu (obr. 27) a upevnění křídla, je do hřídele vloženo těsné pero, na které je posléze nasazeno rameno klapky a zajištěno pojistným kroužkem. Na rameno klapky je nasazeno ojniční rameno a zajištěno pojistným kroužkem. K utěsnění křídla je použito pryžové těsnění, které má dobrou chemickou a teplotní stálost. Těsnění je vloženo mezi trup a křídlo. Křídlo je k trupu uchyceno šroubovými spoji, které vyvozují těsnící sílu. K zamezení průsaku vody, kolem šroubů, jsou použity usít kroužky. Usít kroužek je tvořený kovovým kroužkem, ve kterém je zavulkanizovaný těsnící břit. O-kroužky nasazené na hřídeli zabraňují průsaku vody kolem hřídele do vnitřního prostoru trupu.

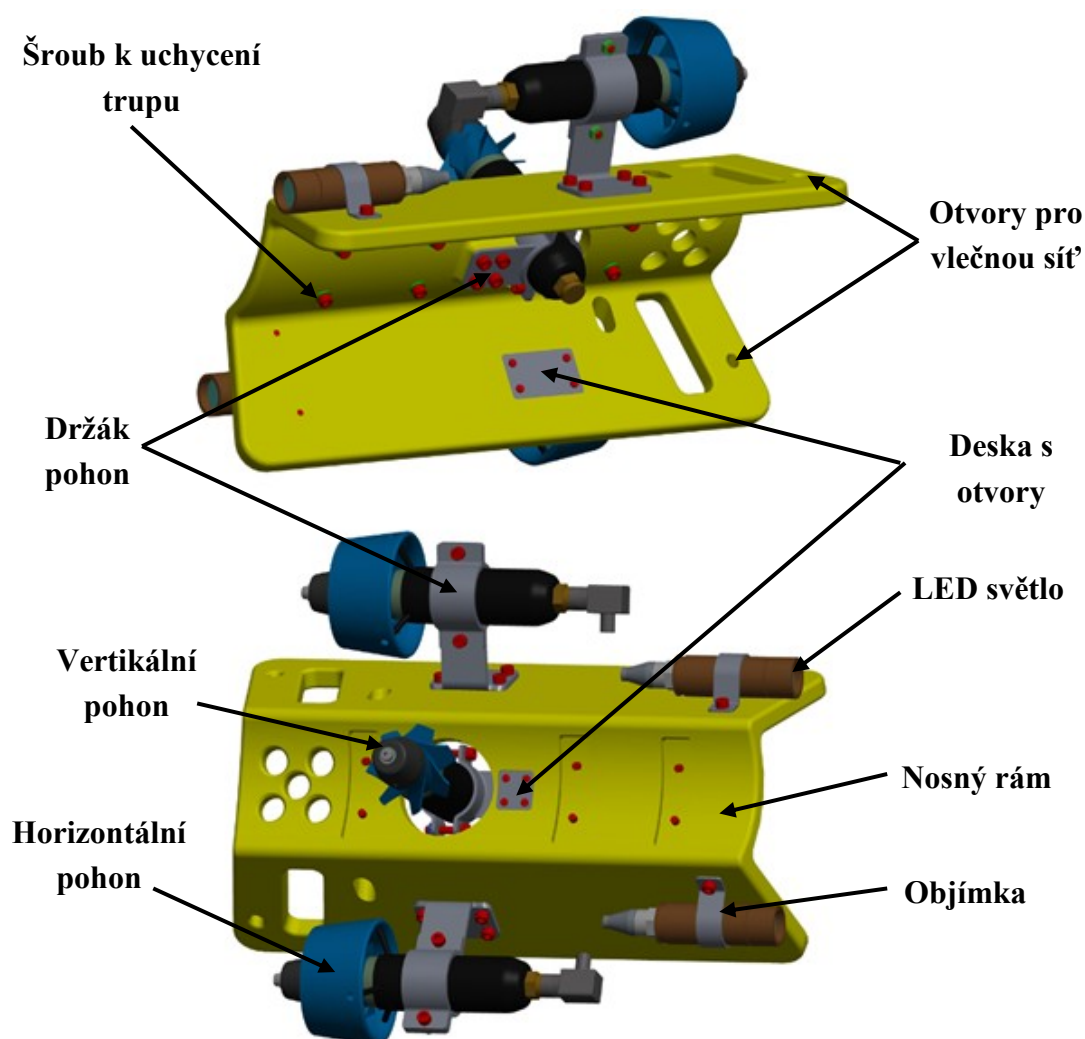


Obr. 27 – Utěsnění a uchycení hloubkového kormidla k trupu - řez

5.3 Nosný rám

Nosný rám (obr. 28) je důležitou součástí robotu, pomocí které dokáže stát na souši a zamezuje kontaktu trupu a křídel se zemí a jejich případnému poškození. Materiál rámu je technický plast PP GF30, který je stejný pro všechny plastové komponenty robotu.

LED světlo drží v rámu objímka, která je k němu přišroubována. Držák horizontálního i vertikálního pohonu je k rámu uchycen šrouby a místo matic je použita deska s otvory a závity. Pohony jsou zvoleny od firmy Tecnam. Držák je koncipován jako svěrný spoj šroubem s děleným nábojem a pohon je držen silovým stykem. V zadní části nosného rámu jsou vytvořeny otvory, přes které je uchycena vlečná planktonová síť. Po upevnění výše zmiňovaných komponentů k rámu, je rám přišroubován šrouby k trupu robotu.

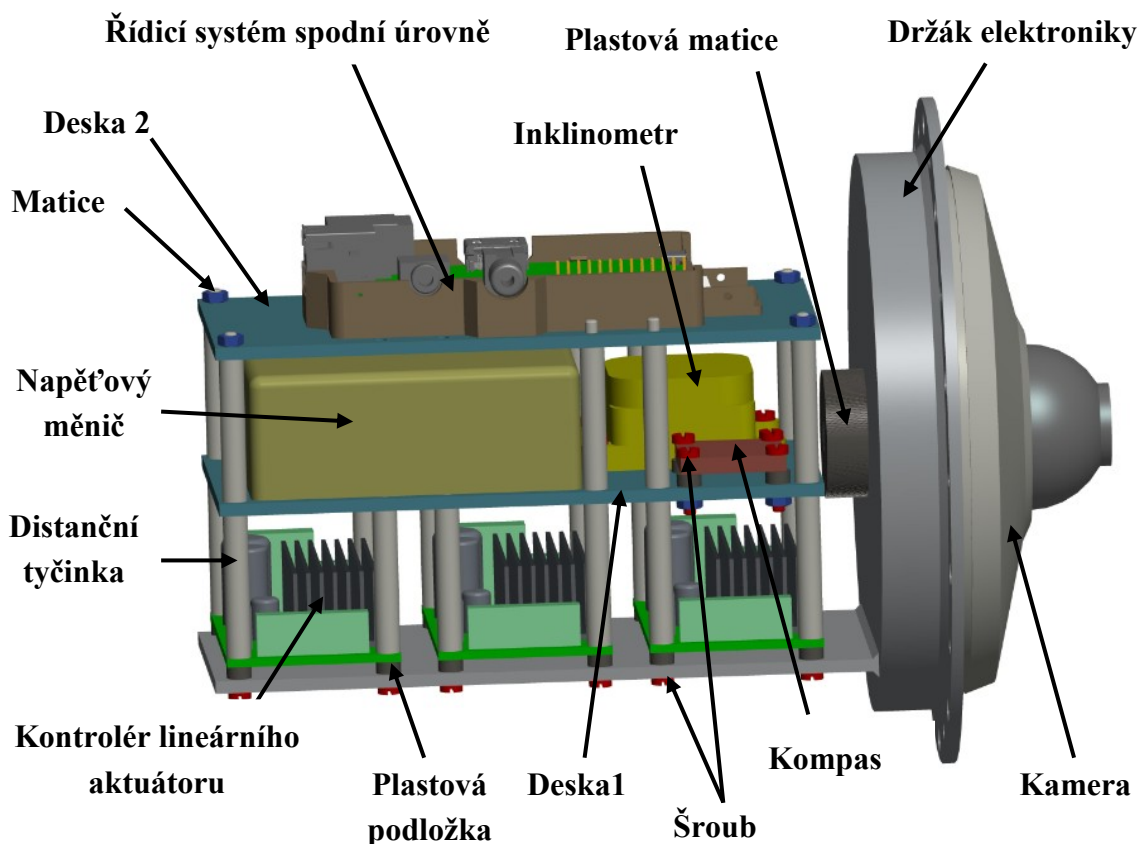


Obr. 28 - Nosný rám

5.4 Držák elektroniky

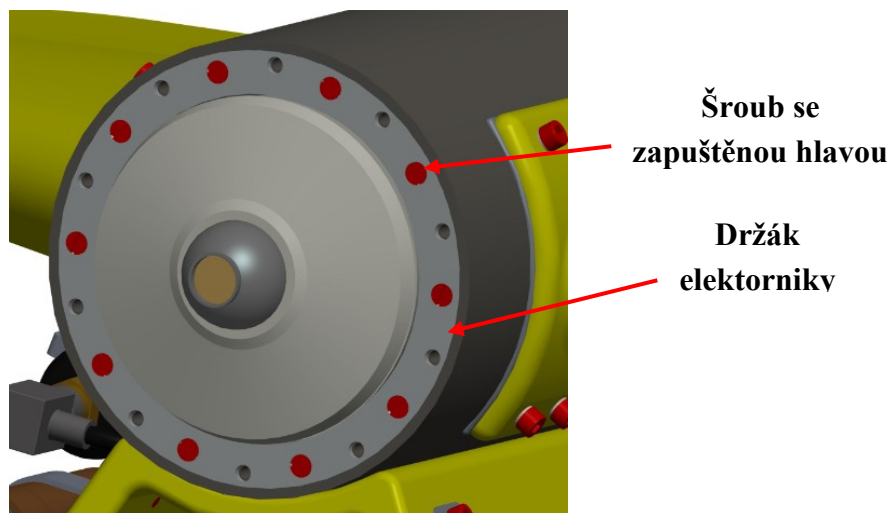
Cílem této kapitoly není výběr a technický popis elektrických komponentů, ale jejich uchycení v držáku. Popis komponentů je řešen v kapitole 7 a v příloze A.

Držák elektroniky je svařovaná konstrukce ze slitiny hliníku (obr. 29). Na čelní straně držáku jsou vytvořeny otvory pro šrouby se zapuštěnou hlavou. V přední části držáku je uchycena kamera pomocí závrtného šroubu a plastové matice. Kontroléry lineárních aktuátorů jsou k držáku uchyceny šrouby a distanční tyčinkami, které plní funkci matic. K zamezení kontaktu plošných spojů kontrolérů s držákem jsou použity plastové podložky. Na desku 1 jsou pomocí šroubů a matic uchyceny inklinometr, kompas a napěťový měnič je přilepen tmelem. Tato podsestava je poté vložena na distanční tyčinky. Deska 1 je zajištěna distančními tyčinkami, které jako v předchozím případě plní funkci matic. Posledním článkem je deska 2, která je vložena na distanční tyčinky a zajištěna maticemi. Na této desce je tmelem přilepen řídicí systém spodní úrovně.



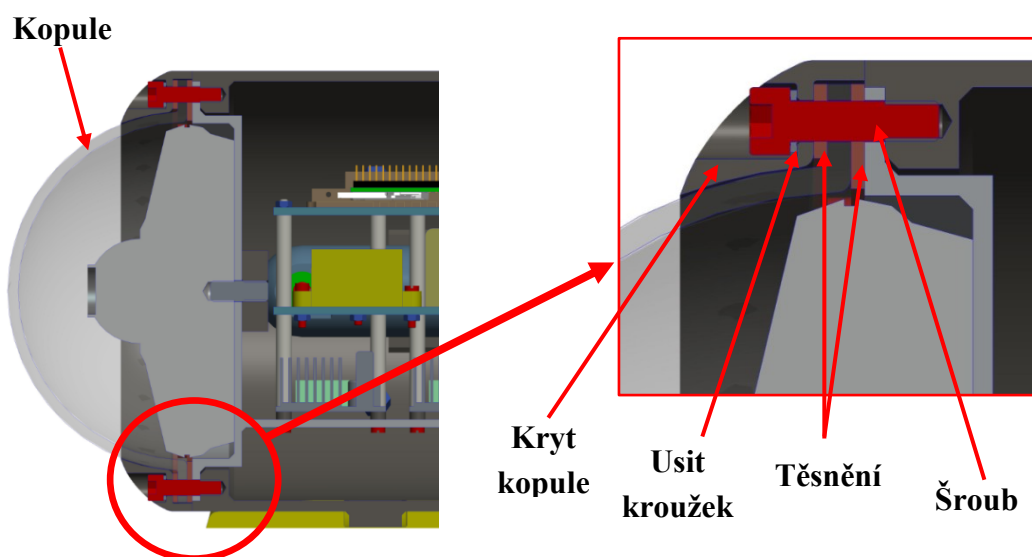
Obr. 29 - Držák elektroniky s komponenty

Při vkládání držáku do trupu jsou postupně k senzorickému a řídicímu systému připojovány pohony, osvětlení, aktuátory a napájecí kabely. Pro případnou lepší manipulaci s kabely je zadní část trupu otevřená. Na obrázku (obr. 30) je zobrazeno zajištění držáku elektroniky v trupu šrouby se zapuštěnou hlavou.



Obr. 30 – Uchycení držáku s elektronikou v trupu

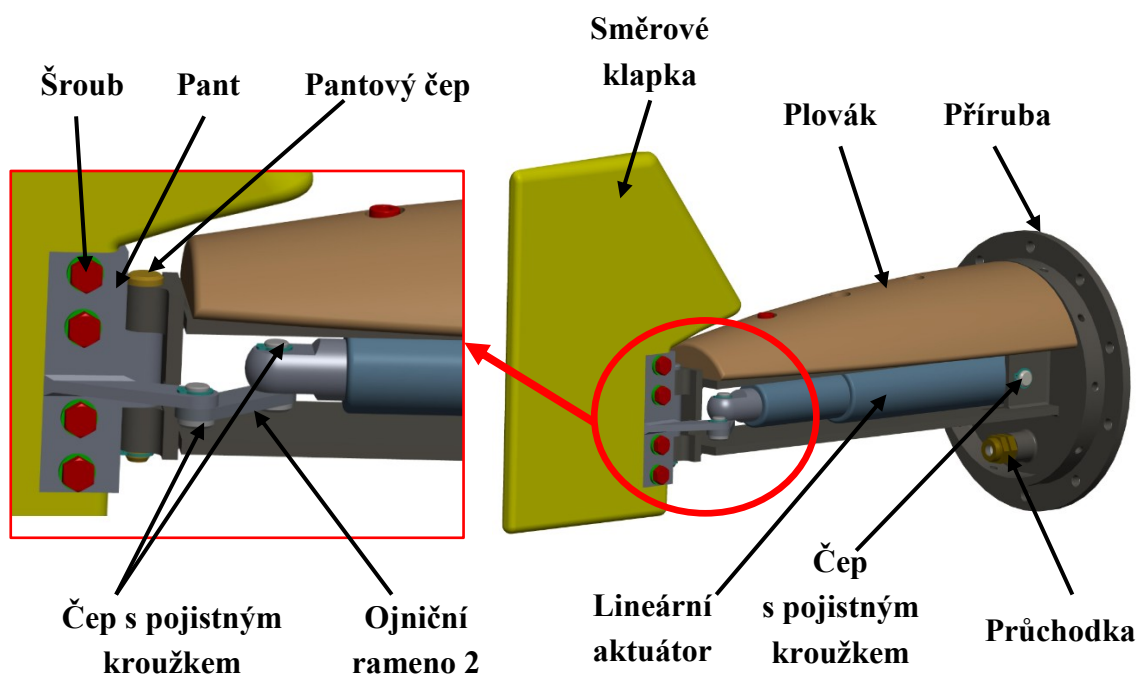
Vnitřní prostor trupu je z přední části chráněn před vodním prostředím skleněnou kopulí (obr. 31), která umožňuje kameře vizualizaci. Kopuli v trupu drží kryt kopule, který je k němu přišroubován šrouby s válcovou hlavou. K utěsnění jsou použity dva těsnící kroužky, které zabraňují průsaku vody kolem kopule. Pod šrouby jsou použity Usit kroužky, které brání případnému zatečení kolem šroubů.



Obr. 31 – Utěsnění trupu kopulí

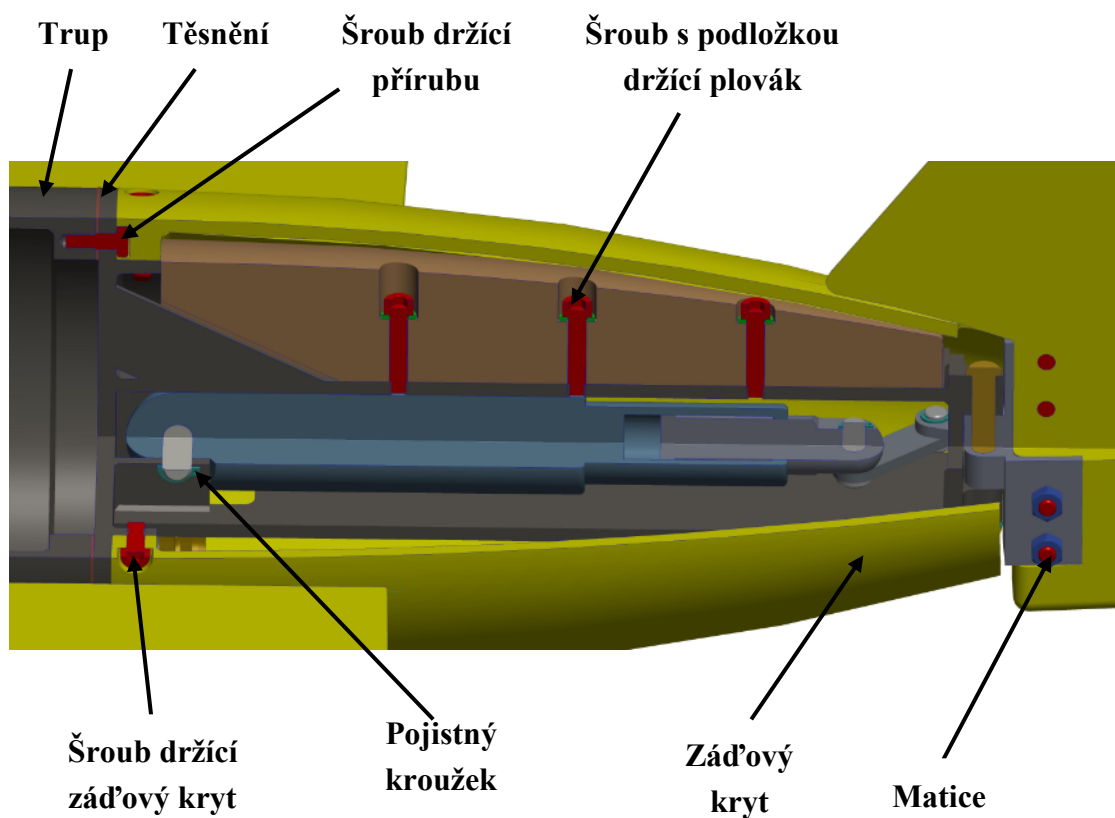
5.5 Zád' robotu

Zád' je poslední částí robotu a uzavírá vnitřní prostor trupu. Nosnou částí zádě je příruba (obr. 32), která je svařovanou konstrukcí. Do příruby je našroubována průchodka, která umožní propojit kontrolér s lineárním aktuátorem. Plovák z korku je v přírubě držen šrouby. Před vložením aktuátoru do příruby je k němu uchyceno ojnicí rameno 2, které je zajištěno čepem a pojistným kroužkem. Do připraveného prostoru v přírubě je vložen lineární aktuátor, který má IP krytí 68. Aktuátor je uchycen čepem, který je z obou stran zajištěn pojistným kroužkem. Pant, který bude držet kormidlo je držen v přírubě pantovým čepem a zajištěn pojistným kroužkem. Pant je spojen s ojnicím ramenem čepem a zajištěn pojistným kroužkem



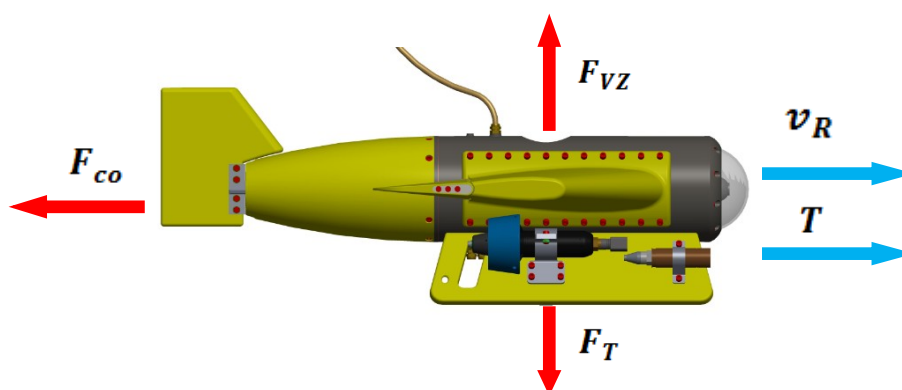
Obr. 32 – Uchycení komponentů k přírubě

Na obrázku (obr. 33) je zobrazeno uchycení příruby se všemi komponenty k trupu pomocí šroubů. Mezi přírubu a trup je vloženo těsnění, které zabraňuje průsaku vody. Příruba je v trupu uchycena šrouby. Dalším krokem je nasunutí zádového krytu na přírubu a jeho zajištění šrouby. Posledním krokem k úplné kompletaci je uchycení kormidla v pantu šrouby a maticemi. Materiál příruby je slitina hliníku, zádový kryt je z PP GF30 a šrouby, matice a pant jsou z nerezové oceli.



Obr. 33 - Zád' robotu uchycená k trupu - řez

6 Návrhové a kontrolní výpočty



Obr. 34 - Síly působící na robot

Legenda:

F_{VZ} – vztlaková síla

v_R - rychlost robotu

T – tah pohonu

F_T - Tíhová síla

F_{co} - celková odporová síla

6.1 Výpočet hydrostatického tlaku v pracovní hloubce

Pro návrh konstrukce servisního robotu je důležitá maximální velikost hydrostatického tlaku, který bude na robot působit. Z požadavkového listu vyplývá, že maximální hloubka ponoru činí 80 metrů. Z důvodu bezpečnosti a možnosti, že se robot může dostat pod tuto hranici, volím pro výpočet hloubku 90 metrů.

Dáno:

- Atmosférický tlak $p_0 = 101325 \text{ Pa}$
- Hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Pracovní hloubka $h = 90 \text{ m}$
- Tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Hydrostatický tlak

$$p_h = p_0 + \rho \cdot g \cdot h = 101325 + 1000 \cdot 90 \cdot 9,81 = 0,984 \text{ MPa} \quad (1)$$

6.2 Vyvážení servisního robotu

Podle Archimédova zákona je těleso nadlehčováno silou, která odpovídá tíze kapaliny vytlačené. Z Archimédova zákona je tedy možno zjistit velikost vztlakové síly na těleso působící. Z formulace je také patrné, že čím větší má robot objem, tím větší vztlaková síla na něj bude působit.

Pokud:

- | | |
|----------------|------------------------|
| $F_{VZ} < F_T$ | robot klesá ke dnu |
| $F_{VZ} > F_T$ | robot plove na hladině |
| $F_{VZ} = F_T$ | robot se vznáší |

Cílem vyvážení je, aby robot v případě výpadku napájení vyplaval na hladinu, tudíž musí platit $F_{VZ} > F_T$.

6.2.1 Výpočet vztlakové a tíhové síly před vyvážením

Hodnoty hmotnosti a objemu nevyváženého podvodního servisního robotu jsou získány z Creo.

Dáno:

- Objem nevyváženého robotu $V_{RN} = 0,0212 \text{ m}^3$
- Hmotnost nevyváženého robotu $m_{RN} = 21,7 \text{ kg}$
- Tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Vztlaková síla

$$F_{VZN} = V_{RN} \cdot \rho \cdot g = 0,0212 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 208 \text{ N} \quad (2)$$

Tíha robotu na souši

$$F_{TN} = m_{RN} \cdot g = 21,7 \cdot 9,81 = 212,9 \text{ N} \quad (3)$$

Rozdíl mezi tíhovou a vztlakovou silou

$$F_{RN} = F_{TN} - F_{VZN} = 212,9 - 208 = 4,9 \text{ N} \quad (4)$$

Tíhová síla je větší než vztlaková, proto je nutné robot vybavit plováky. Aby platilo $F_{VZ} > F_T$, je k rozdílu mezi tíhovou a vztlakovou silou přičteno 4 N, které by měly zajistit plavání robotu na hladině s minimálním vztlakem.

$$F_{R1} = F_R + 4 = 8,9 \text{ N} \quad (5)$$

Výpočet potřebného objemu plováku

$$V_P = \frac{F_{R1}}{\rho \cdot g} = \frac{8,9}{1000 \cdot 9,81} = 0,0009 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Pro zajištění většího objemu a minimalizace navýšení hmotnosti jsou plováky vyrobeny z korku.

6.2.2 Výpočet vztlakové a tíhové síly po vyvážení

Hodnoty hmotnosti a objemu podvodního servisního robotu po vyvážení jsou získány z Creo.

Dáno:

- Objem vyváženého robotu $V_{RV} = 0,0221 \text{ m}^3$
- Hmotnost vyváženého robotu $m_{RP} = 21,9 \text{ kg}$

Vztlaková síla

$$F_{VZV} = V_{RP} \cdot \rho \cdot g = 0,0221 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 216,8 \text{ N} \quad (7)$$

Tíha robotu na souši

$$F_{TV} = m_{RP} \cdot g = 21,9 \cdot 9,81 = 214,8 \text{ N} \quad (8)$$

Rozdíl mezi tíhovou a vztlakovou silou

$$F_{RV} = F_{VZV} - F_{TV} = 216,8 - 214,8 = 2 \text{ N} \quad (9)$$

Rozdíl mezi těmito silami je menší než, který byl zamýšlen, ale podmínka je splněna $F_{VZ} > F_T$.

6.3 Výpočet potřebného tahu pohonu určeného k ponoru

K pohybu kolmému k vodní hladině slouží pohon umístěný v trupu. Pohon musí překonat rozdíl mezi vztlakovou a tíhovou silou. Potřebný tah pohonu k ponoření je převzat z výsledku výpočtu (9).

Pro vypočtenou sílu potřebnou k ponoření je navržen pohon od firmy TecnaDyne. Jedná se o nejslabší nabízený pohon této firmy. Z parametrů uvedených v tabulce (Tab. 17) je patrné, že pohon je 10x silnější, než je požadováno. Toto může být využito např., pokud bude zapotřebí rychlého kolmého klesání. Pohon má zabudované řízení, otáčky a směr je řízen analogově $\pm 5\text{V}$. Výhodou je nízké napájecí napětí 24 V.

Dopředný tah	2,1 kg	
Zpětný tah	1,1 kg	
Hmotnost na vzduchu	0,7 kg	
Napájení	24 VDC, 125 W	
Analogové rychlostní řízení	$\pm 5 \text{ V}$	
Hloubka	850 m	

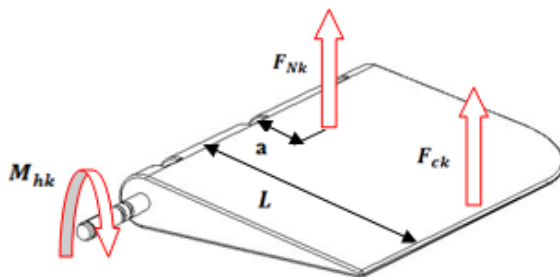
Tab. 17 – Parametry vertikálního pohonu [22]

6.4 Návrh pohonu hloubkového kormidla

Klapka se natáčí o $\pm 20^\circ$, a pro každý stupeň natočení je jiná velikost odporové síly. Tato síla vyvozuje moment na hřídeli.

Dáno:

- Délka hloubkové klapky $L = 0,14 \text{ m}$
- Rychlost robotu $v_R = 1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Plocha hloubkové klapky $S_{hk} = 0,029 \text{ m}^2$



Obr. 35 - Definice momentu na klapce

Celkový odporový součinitel

Celkový odporový součinitel pro šikmou desku s úhlem náběhu $\gamma = 20^\circ$ je dán vztahem

$$c_n \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin \gamma}} = 0,95 \quad (10)$$

Odporová síla

$$F_{Nk} = c_n \cdot S_{hk} \cdot \rho \cdot \frac{v_k^2}{2} = 0,95 \cdot 0,029 \cdot 1000 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 23,1 \text{ N} \quad (11)$$

Moment klapky

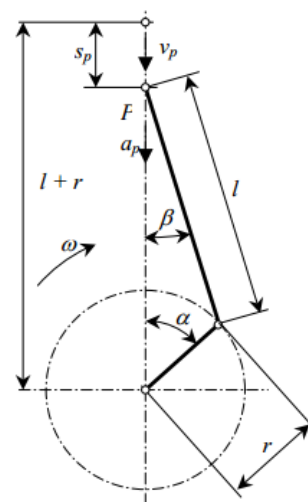
Moment (obr. 35), který vzniká při maximálním natočení klapky, je dán normálovou odporovou silou. Pro výpočet je použita fiktivní síla F_{ck} , která působí na konci profilu a dává stejný moment jako síla normálová F_{Nk} .

$$M_{hk} = F_{ck} \cdot L = 23,1 \cdot 0,14 = 3,23 \text{ Nm} \quad (12)$$

6.5 Návrh klikového mechanismu a pohonu

K transformaci lineárního pohybu pístu na rotační pohyb klapky je použit klikový mechanismus (obr. 36). Velikost setrvačných sil mechanismu je zanedbatelná, a proto nejsou v návrhu zohledněny.

Obr. 36 - Schéma klikového mechanismu



Dáno:

- Rameno ojnice hloubkové klapky $l = 0,085 \text{ m}$
- Rameno kliky hloubkové klapky $r = 0,042 \text{ m}$
- Úhel pootočení kliky $\alpha = 40^\circ$

Klikový poměr

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{0,042}{0,085} = 0,49 \quad (13)$$

Úhel β

$$\beta = \arcsin(\lambda \cdot \sin \alpha) = \arcsin(0,49 \cdot \sin 40) = 18,35^\circ \quad (14)$$

Síla v ojnici

$$F_o = \frac{F_p}{\cos\beta} \quad (15)$$

Tangenciální síla na klice

$$F_t = F_o \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (16)$$

Moment na klice

$$M_{hk} = F_t \cdot r \quad (17)$$

Síla na pístu


Dosazením (16), (15) do (17) vyjádříme sílu F_p potřebnou na pístu

$$F_p = \frac{M_{hk} \cdot \cos\beta}{r \cdot \sin(\alpha + \beta)} = \frac{3,23 \cdot \cos(18,35)}{0,042 \cdot \sin(40 + 18,5)} = 85,7 \text{ N} \quad (18)$$

Síla na pístu pro ostatní úhly natočení klapky je vypočtená v excelu, který je přiložený na disku.

Pohon klapky

Pohon klapky je lineární aktuátor con35 firmy Concens. Tento pohon má oproti konkurenci menší průměr a je vybaven hallovým senzorem. Návrh pohonu směrové klapky je řešen v příloze D.

Maximální síla	120 N	
Zdvih	50 mm	
Rychlost vysouvání	16 mm/s	
IP krytí	68	
Hmotnost	0,8 kg	
Napájení	24 VDC, 1,8A	

Tab. 18 - Parametry lineárního aktuátoru con35 [27]

6.6 Návrh a výpočet spoje pro přenos krouticího momentu z hřídele na náboj

Moment, který vyvozuje odporová síla na hřídel je přenesen na rameno klikového mechanismu těsným perem.

Dáno:

- Materiál hřídele 17024.2
- Mez kluzu hřídele $R_{eH} = 490 \text{ MPa}$
- Krouticí moment hloubkové klapky $M_{hk} = 3230 \text{ N} \cdot \text{mm}$
- Bezpečnost vůči mezi kluzu $k_e = 1,5$
- Dovolený tlak ocel $p_D = 120 \text{ MPa}$

Dovolené napětí v krutu

$$\tau_D = \frac{\tau_{kt}}{k_e} = \frac{0,577 \cdot R_{eH}}{1,5} = \frac{0,577 \cdot 490}{1,5} = 188 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$\tau \leq \tau_D \text{ podmínka} \quad (20)$$

Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{M_{hk}}{W_k} \quad (21)$$

Návrh průměru hřídele

Dosazením (21) do podmínky (20) dostaneme vztah:

$$\frac{M_{hk}}{W_k} = \frac{M_{hk}}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{16}} \leq \tau_D \quad (22)$$

Z rovnice (22) vyjádříme předběžný průměr hřídele d_h

$$d_h = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{hk}}{\pi \cdot \tau_D}} = \frac{16 \cdot 3230}{\pi \cdot 188} = 4,45 \text{ mm} \quad (23)$$

Volím průměr hřídele **8 mm**

Krouticí moment M_{hk} se přenáší boky pera a drážek. Spoj je tak namáhán na otláčení bočních ploch pera a drážek náboje a hřídele. Volím pero dle ČSN 02 2562 s šířkou $b = 2 \text{ mm}$ a výškou $h = 2 \text{ mm}$.

Stanovení síly F_2 působící na pero

$$F_2 = \frac{M_{hk}}{\frac{d_h + t_1}{2}} = \frac{3230}{\frac{8 + 0,9}{2}} = 725 \text{ N} \quad (24)$$

Účinná délka pera

$$l' = \frac{F_2}{P_D \cdot t_1} = \frac{725}{120 \cdot 0,9} = 6,71 \approx 7 \text{ mm} \quad (25)$$

Kontrola tlaku P_2

$$P_2 = \frac{F_2}{l' \cdot t_1} = \frac{725}{7 \cdot 0,9} = 115 \text{ Mpa} \leq P_D \quad (26)$$

Potřebná délka pera

$$l_p = l' + b = 7 + 3 = 10 \text{ mm} \quad (27)$$

Stanovení síly F_1 působící na pero

$$F_1 = \frac{M_{hk}}{\frac{d_h - t}{2}} = \frac{3230}{\frac{8 - 1,1}{2}} = 710 \text{ N} \quad (28)$$

Kontrola tlaku P_1

$$P_1 = \frac{F_1}{t \cdot l} = \frac{710}{1,1 \cdot 10} = 64,5 \text{ MPa} \leq P_D \quad (29)$$

Z návrhového výpočtu volím z tabulek pero 2e7 x 2 x 10 dle ČSN 02 2562.

6.7 Výpočet odporových sil působících proti pohybu

Pro návrh pohonů, které pohánějí robot v horizontálním směru, je nutné zjistit velikost odporové síly, která působí proti pohybu. Tento odpor je závislý především na průmětu povrchu tělesa kolmé na směr pohybu. Celkový tah navržených pohonů musí být větší než celková odporová síla.

Dáno:

- Rychlost robotu $v_R = 1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Odporový součinitel C_x

Velikosti jednotlivých ploch jsou získány z modelu vytvořeného v Creo.

Odpor plochy 1 (kopule)

$$C_{x1} = 0,42 \text{ [23, str.92]}$$

$$S_1 = 0,02 \text{ m}^2$$

Odporová síla

$$F_{o1} = c_{x1} \cdot \rho \cdot S_1 \cdot \frac{v_R^2}{2} = 0,42 \cdot 1000 \cdot 0,02 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 7 \text{ N} \quad (30)$$

Odpor plochy 2 (trup)

$$C_{x2} = 0,83 \text{ [23, str.92]}$$

$$S_2 = 0,02 \text{ m}^2$$

Odporová síla

$$F_{o2} = c_{x2} \cdot \rho \cdot S_2 \cdot \frac{v_R^2}{2} = 0,83 \cdot 1000 \cdot 0,02 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 14 \text{ N} \quad (31)$$

Odpor plochy 3 (křídlo)

$$C_{x3} = 0,2 \text{ [23, str.92]}$$

$$S_3 = 0,015 \text{ m}^2$$

Odporová síla

$$F_{o3} = c_{x3} \cdot \rho \cdot S_3 \cdot \frac{v_R^2}{2} = 0,2 \cdot 1000 \cdot 0,015 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 2,5 \text{ N} \quad (32)$$

Odpor plochy 4 (pohon)

$$C_{x4} = 0,83 \text{ [23, str.92]}$$

$$S_4 = 0,004 \text{ m}^2$$

Odporová síla

$$F_{o4} = c_{x4} \cdot \rho \cdot S_4 \cdot \frac{v_R^2}{2} = 0,83 \cdot 1000 \cdot 0,004 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 2,8 \text{ N} \quad (33)$$

Odpor plochy 5 (rám)

$$C_{x5} = 0,9 \text{ [23, str.92]}$$

$$S_5 = 0,0025 \text{ m}^2$$

Odporová síla

$$F_{o5} = c_{x5} \cdot \rho \cdot S_5 \cdot \frac{v_R^2}{2} = 0,9 \cdot 1000 \cdot 0,0025 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 1,9 \text{ N} \quad (34)$$

Celková odporová síla


$$F_{co} = F_{o1} + F_{o2} + 2 \cdot F_{o3} + 2 \cdot F_{o4} + F_{o5} = 33,5 \text{ N} \quad (35)$$

Potřebný tah pohonu

Pro zjištění potřebného tahu pohonů je celková odporová síla vynásobena koeficientem přidavných odporových sil.

$$T = F_{co} \cdot k = 1,2 \cdot 33,5 = 40,2 \approx 41 \text{ N} \quad (36)$$

Na základě výpočtu potřebného tahu robotu jsou zvoleny dva pohony o stejném výkonu od výrobce Tecnadyne. Díky svojí velikosti a výkonu jsou tyto pohony často využívány u robotických ponorek. Motor má zabudované řízení přes analogový bipolární signál $\pm 5V$. V motoru jsou použity kluzné ložiska, pomocí kterých můžeme dosáhnout vysoké účinnosti a taky kompaktnosti.

Dopředný tah	2,1 kg	
Zpětný tah	1,1 kg	
Hmotnost na vzduchu	0,7 kg	
Napájení	24 VDC, 125 W	
Analogové rychlostní řízení	± 5 V	
Hloubka	850 m	

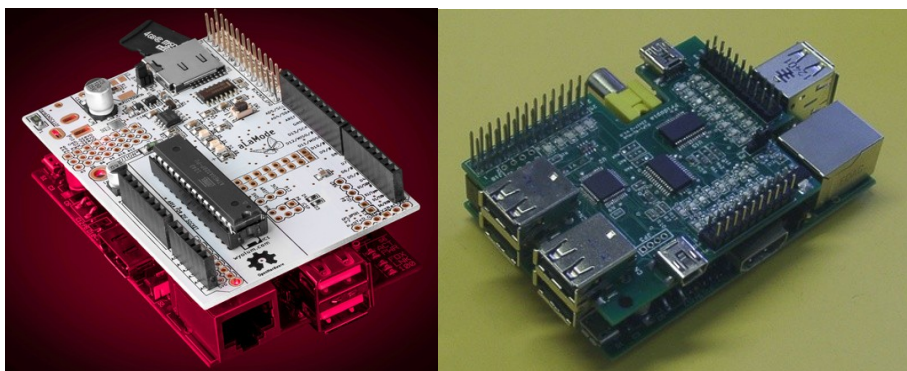
Tab. 19 - Parametry horizontálního pohonu [22]

7 Řídicí systém a senzorické vybavení podvodního robotu

Nedílnou součástí každého servisního robotu je řídicí a senzorický subsystém, který umožňuje orientaci robotu v daném prostředí a jeho ovládání. Ovládání podvodního servisního robotu je uskutečňováno z operátorského stanoviště nacházející se na mateřské lodi.

Operátorské stanoviště je vybaveno řídicím systémem vyšší úrovně (ŘSVÚ), kterým je robot ovládán, dále monitory k vizualizaci a vhodným ovládacím zařízení. Řídicí systém spodní úrovně (ŘSSÚ) se nachází v servisním robotu a řídí výkonový a senzorický subsystém. ŘSVÚ a ŘSSÚ jsou spolu spojeny kabelem a komunikují po datové lince RS-422, která má vysokou přenosovou rychlost a délka kabelu může dosáhnout až 1500 metrů. Kabel slouží k přenosu dat a energie mezi oběma řídicími systémy.

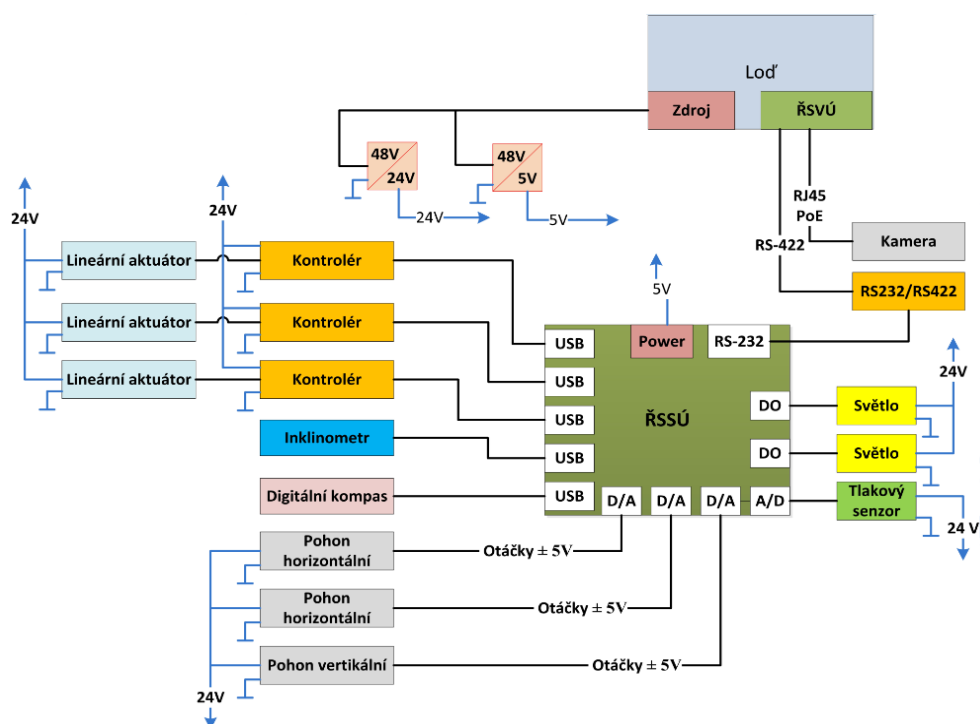
ŘSSÚ je miniaturní počítač Raspberry Pi, který používá operační systém založený na Linuxových jádrech a napájení 5V přes microUSB. Raspberry Pi je rozšířen vhodnými deskami (obr. 37), které se na sebe skládají nebo mohou být propojeny 26-ti žilovým kabelem.



Obr. 37 - Nadstavbové karty pro Raspberry Pi

Aby bylo možné robot ovládat, musíme znát směr pohybu, náklon a hloubku robotu. Pro zjištění směru pohybu je použit digitální kompas, který určuje směr vůči magnetickému pólu Země. Hloubka, ve které se robot nachází, je zjišťována tlakovým senzorem. K měření náklonu ve dvou osách je použit digitální inklinometr. Technické parametry elektrických komponentů jsou uvedeny v příloze A a ve výpočetní části kapitoly 6.

7.1 Popis schéma zapojení



Obr. 38 – Blokové schéma zapojení senzorického a řídicího subsystému

Řídicí systém spodní úrovně (obr. 38) představuje počítač Raspberry Pi, který je rozšířen o desky s USB porty, komunikaci RS-232, A/D-D/A převodníky a binární výstupy s otevřeným kolektorem. Aby mohly obě úrovně mezi sebou komunikovat po datové lince RS-422, je využit převodník RS-232/422, který je připojen na komunikační port Raspberry Pi. LED světla robotu napájená 24 V jsou připojená na výkonové binární výstupy otevřených kolektorů ŘSSÚ, které jsou spínány/rozpínány. Kamera umožňující vizualizaci je spojena s ŘSVÚ kabelem PoE, který kameru napájí a zároveň přenáší data. Kompas a inklinometr jsou k Raspberry Pi připojeny a napájeny přes USB. Tlakový senzor, pomocí kterého zjišťujeme hloubku, je napájen 24 V a připojen na A/D převodník ŘSSÚ. Pohony horizontální a vertikální pohon jsou napájeny 24 V a jsou připojeny k D/A převodníku. Otáčky a směr otáčení pohonů je řízen $\pm 5V$. K snížení napětí od zdroje na požadovaných 24V a 5V jsou použity napěťové měniče. Kontroléry lineárních aktuátorů jsou napájeny 24 V a s počítačem jsou propojeny USB kabelem. Ke kontrolérům jsou připojeny lineární aktuátory, které jsou napájeny rovněž 24 V.

7.2 Maximální spotřeba proudu

Během činnosti robotu, můžou nastat situace, které si vyžádají větší či menší odběr proudu. Pro správný návrh je zapotřebí zjistit maximální odběr při těchto situacích. Největší odběr proudu nastává, když jsou spuštěny oba horizontální pohony a zároveň se natáčejí hloubkové a směrové klapky, které jsou ovládány lineárními aktuátory. Je předpokládáno, že pohony využijí svůj výkon na maximum. Lineární aktuátory jsou spuštěny jen na tak dlouho, dokud nedojde k správnému natočení klapky, tj. cca 2-3 s. Po tomto čas je maximální odběr proudu. Je třeba zahrnout také výkon senzorického a řídicího systému. Celkový maximální odebíraný proud je 14,6 A.

7.3 Návrh kabelu

Kabel slouží k přenosu dat a energií mezi operačním stanovištěm a servisním robotem. Pro návrh kabelu je důležité vědět maximální výkon robotu, počet přenášených signálů a typy signálů. Od těchto parametrů se bude odvíjet návrh počtu

žil, jejich průřez a tím spjatý výsledný průměr kabelu. Další podmínkou je neutrální nebo pozitivní vztlak kabelu a možnost navíjení na buben. Dle požadavkového listu musí být délka kabelu minimálně 120 metrů.

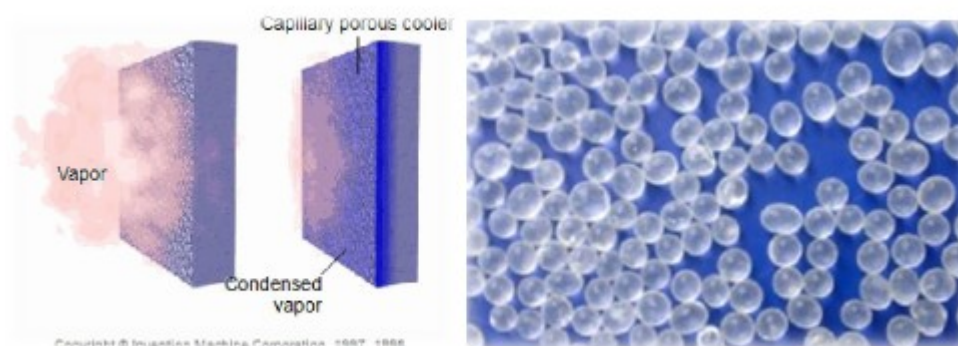
Vhodným kabelem pro navržený servisní robot je kabel typ 4971 od firmy MacArtney, který má dva vodiče pro energii a dva spletené vodiče pro signály. [32]

7.4 Návrh zdroje napájení

Napájecí zdroj pro servisní robot je umístěn na lodi. Napětí, které má být na konci vedení je 48 VDC. Kvůli ztrátám na vedení z důvodu jeho délky dochází k úbytku napětí. K tomu, aby bylo na konci vedení 48 V, musí být na zdroji velikost napětí 48 V + úbytek napětí. Výkonový a řídicí systém je napájen 24 V a 5 V. K snížení napětí jsou použity napěťové měniče, které dodávají stabilizované požadované napětí.

7.5 Odstranění vlhkosti

Největším nebezpečím senzorické a řídicí elektroniky je vzduch nasycený vodními párami, který by mohl kondenzovat na těle trupu, a tím by mohlo dojít k poškození elektroniky. K tomu, abychom zamezili poškození, slouží kondenzátory vlhkosti nebo silikagel (gelové kuličky), které absorbují vlhkost a vytváří suché bezpečné prostředí (obr. 39).



Obr. 39 - Kondenzátory vlhkosti (vlevo) a silikagel (vpravo)

8 Odhadována cena servisního robotu

Odhadnout cenu navrhnutého podvodního servisního robotu je velice složité. Dá se předpokládat, že robot bude využit k nekomerčním účelům. Prodejnost tedy nebude velická, tudíž se bude jednat o kusovou nebo malosériovou výrobu. Ceny nakupovaných komponentů jsou závislé na odebíraném množství. Čím je odběr vyšší, tím je cena nižší. Jelikož oblast nasazení robotu, není tak rozšířená, je velice složité zjistit cenu použitých komponentů. Cena plastových komponentů je závislá na jejich složitosti, a tím spjatou složitost vstřikovací formy. Cena forem podle složitosti může dosáhnout až k statisícům

Aby bylo možné alespoň přibližně odhadnout cenu navrženého servisního robotu, byl proveden průzkum trhu s dálkově řízenými roboty. Dle porovnaných parametrů a velikostí, by se cena navrženého robotu mohla pohybovat mezi 300 000 – 400 000 Kč. V této ceně je kompletní vybavení potřebné k ovládání servisního robotu, tj. řídicí systém vyšší úrovně a kabel s navijákem.

9 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout konstrukční řešení podvodního servisního robotu pro monitorování a odběr vzorků ve větších hloubkách.

V úvodní části práce byla provedena analýza týkající se rozdílu mezi autonomními a dálkově řízenými roboty. Dále byl proveden průzkum současných dálkově řízených robotů, od malých inspekčních robotů, až po největší dostupné roboty. Na základě provedené analýzy byly sestaveny požadavky kladené na servisní robot.

V další kapitole byly na základě požadavkového listu vypracovány tři konstrukční varianty podvodního servisního robotu, které byly podrobně popsány a zpracovány v Creo. Pro vybrání optimální varianty podvodního servisního robotu hodnotovou analýzou byla použita metoda porovnání v trojúhelníku párů.

Optimální varianta byla dále konstrukčně rozpracována. Robot byl dle zadání vybaven zařízením k odběru vzorků. Pro natáčení klapek byly zvoleny lineární aktuátory, které nemusí být vybaveny brzdou. Pohony pro pohyb robotu byly zvoleny

od Tecnadynea, jejich napájení je 24 V. Při návrhu bylo nutné zvolit vhodné materiály komponentů, které odolají korozi a chemickým účinkům média. Pro plastové díly byl použit technický plast polypropylen s 30% skleněných vláken, který je lehký, pevný a nenasákavý. Z důvodu snížení hmotnosti je trup a záď robotu z anodizované slitiny hliníku 6061 t6. Ostatní součásti a spojovací materiál (šrouby, podložky, matice, pera) jsou z nerezové oceli. Velmi důležitým požadavkem bylo zajištění těsnosti mezi trupem a spojovanými částmi. Toho bylo dosaženo navržením těsnění výpočetním programem Klinger Expert firmy Klinger. Program rovněž vypočetl potřebný utahovací moment šroubů k zajištění těsnosti. K zamezení zatékání kolem šroubů byly použity Usit kroužky, které jsou tvořeny kovovými kroužky, ve kterých jsou zavulkanizovány těsnicí břity. Hřídel je v trupu utěsněna dvojicí o-kroužků. K utěsnění kabelových vývodů byly použity kabelové vývodky s IP krytím 68.

Součástí práce byla výpočetní část, která se zabývala návrhem pohonů pro pohyb robotu, pohonů pro natáčení klapky, výpočtem těsnění, vyvážení tíhové a vztlakové síly. Dále výpočetní část obsahovala návrhové a kontrolní výpočty hřídelů a per.

Poslední částí práce byl návrh senzorického a řídicího subsystému. Byly navrženy senzory, které umožní zjistit hloubku, náklon a směr plavby robotu. Robot byl vybaven vhodným kabelem, který přenáší energii a data z lodi. Řízení robotu bylo koncipováno do dvou úrovní řízení.

Práce je doložena výkresovou dokumentací optimální varianty, pevnostními analýzami, návrhem těsnění pomocí softwaru Klinger expert a výpočtem odporové síly klapky v softwaru Excel.

Zhodnocení dosažených výsledků

Po provedení analýzy podvodních servisních robotů vyvstaly otázky ohledně zvolení vhodného designu robotu. Bylo zjištěno, že tvar robotu má vliv na stabilitu a velikost odporové síly. Pohony musely mít dostatečný výkon k překonání odporové síly, čím byla větší odporová síla, tím byl potřebnější vyšší výkon. Stabilita robotu byla zajištěna hloubkovými kormidly.

Velkým problémem bylo zvolení vhodného materiálu komponentů robotu. Původně byl trup a záď robotu z nerezové oceli a plastové komponenty z polypropylenu. Při výpočtu vztlakové a tíhové síly bylo zjištěno, že rozdíl mezi těmito silami je značně

velký. Navržený plovák by měl velký objem a ovlivňoval by chování robotu při pohybu. Konečným řešením bylo zvolení materiálu pro trup a záď robotu slitiny hliníku. Materiál plastových komponentů byl nahrazen polypropylenem s 30% skleněných vláken. S nově navrženými materiály se značně snížila hmotnost robotu a rozdíl mezi vztlakovou a tíhovou silou.

Největším problémem bylo zajištění těsnosti mezi trupem a připojovanými částmi. Pro navržená těsnění bylo složité vypočítat přitlačnou sílu, která by zajišťovala těsnost. Proto byla využita těsnění od firmy Klinger, která má svůj výpočetní program pro návrh těsnění. Na základě zadaných parametrů byla zvolená vhodná těsnění a vypočteny potřebné utahovací momenty šroubu k vyvození těsnící síly.

10 Reference

10.1 Použitá literatura

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2003. 866 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [2] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB – TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN – 80-248-0626-6.
- [3] KÁRNÍ, L; KNOFLÍČEK, R; MARCINČIN, J.N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 S. ISBN 80-902746-2-5.
- [4] MENZEL, P; D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.
- [5] SKAŘUPA, J; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Vienaľa Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0
- [6] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanism strojů pro bakaláře: Části spojovací*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. 95 s. ISBN 978-80-248-1290-8.

10.2 Internetové zdroje

- [7] Podvodní robot pro práci v hlubinách. *Automa*. [online]. 2011 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44075
- [8] Underwater acoustic position systém[online] 2009 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.hydro-international.com/download/whitepaper_uploadfile_9.pdf
- [9] A brief of history ROVs. *Wernlibooks* [online]. 1999 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.wernlibooks.com/A%20Brief%20History%20of%20ROVs.pdf>
- [10] Products. *Videoray Pro 3E* [online]. 2013 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.videoray.com/homepage/professional-rovs/videoray-pro-3.html>
- [11] Products. *Nova Ray - model 2000* [online]. 2012 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.adventmarine.com/products_model3500.htm

- [12] Products. *Super Mohawk II* [online]. 2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.f-e-t.com/images/uploads/data-sheets/FOR259_Super_Mohawk_040413.pdf
- [13] Products. Millennium Plus [online]. 2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.oceaneering.com/oceandocuments/brochures/rov/ROV%20-%20Millennium%20Plus.pdf>
- [14] Konstrukce ponorky. *Die kapitäne* [online]. 2006 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://silenthunter.cz/forum/viewtopic.php?p=14185&sid=329c057773a03e1c71b479098c0b5d7c>
- [15] Robot R1. *Auvac* [online]. 2008 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://auvac.org/configurations/view/144>
- [16] Solar-powered AUV. *Auvac* [online]. 2008 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z : http://auvac.org/uploads/publication_pdf/SAUV%20Vehicle%20Development.pdf
- [17] Napěťový měnič. *Alibaba* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-gs/783122495/48V_24V_15A_DC_to_DC.html
- [18] Digitální inklinometr. *SBG system* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.sbg-systems.com/products/ig-20>
- [19] Digitální kompas. *Robotshop* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/oceanserver-os5000-us-compass.html>
- [20] Tlakový senzor. *Ifm* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/PP7541.htm>
- [21] Raspberry Pi. *Raspberry Pi* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.raspberrypi.org/>
- [22] Pohony. *Tecnadyne* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://tecnadyne.com/cms/index.php/products/products-overview/thruster>
- [23] Obtékání těles. *Obtékání těles* [online]. 2008 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Janalik-Obtekani.pdf>

- [24] ŽÁBA, Tomáš. Realizace edukační úlohy na experimentální stanici pro modelování předeptatých šroubových spojů [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=1438. Diplomová. VUT.

10.3 Katalogy

- [25] Kabelové vývodky. Agro [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.infoczech.cz/elmo/dokumenty/Agro_katalog_vyvod.pdf
- [26] PP GF30. Lmp [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1513&lng=1>
- [27] Lineární aktuátor. Concens [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.concens.com/sites/default/files/downloads/con35_gb_ver4_june2012.pdf
- [28] Kontrolér lineárního aktuátoru. Concens [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné: http://www.concens.com/sites/default/files/downloads/manual_conc2-20-concens_1.pdf
- [29] LED světlo. Bowtech [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.bowtech.co.uk/iadmin/Uploads/productDocs/74/LED-C-Series.pdf>
- [30] Kamera. Axis [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.axis.com/files/datasheet/ds_m5013_m5014_50849_en_1303_lo.pdf
- [31] Převodník RS232/422. Serial comm [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.serialcomm.com/datasheets/CON-422-PIE.pdf>
- [32] Kably. MacArtney [online]. 2013. vyd. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.macartney.com/sites/default/files/brochures/2005747c.Rev%20B.%20doc.pdf>

11 Seznam příloh

11.1 Dokumentace

Příloha A – Komponenty senzorického a řídicího subsystému

Příloha B – Návrh těsnění

Příloha C – Utahování šroubů

Příloha D – Návrh pohonu směrové klapky

Příloha E – Pevnostní analýza

11.2 Přiložený disk

- Diplomová práce v elektronické podobě (*.pdf)
- Výkresová dokumentace (AutoCAD 2006, 2009, *. Pdf)
- 3D model finální varianty (Creo2)
- Záznam o závěrečné práci na katedře robototechniky (word 2007)
- Síla na pístu pro ostatní úhly natočení klappek (*.xlsx)

Poděkování


Na závěr diplomové práce bych chtěl touto cestou poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za užitečné rady a odborné vedení při zpracování práce.

Příloha A – Komponenty senzorického a řídicího systému**Digitální inklinometr IG-20**

	Základní parametry inklinometru	
	Statická přesnost	$\pm 0,2^\circ$
	Rozsah náklonu	$\pm 180^\circ$, $\pm 80^\circ$
	Komunikační rozhraní	RS-232, USB
	Napájení	3,3 - 30 V, < 150 mW
	Rozměry	36x49x32 mm
	Hmotnost	38 g


Tab. 20 - Parametry inklinometru [18]

Tlakový senzor

	Základní parametry tlakového senzoru	
	Napájení	9 – 30 VDC, < 45 mA
	Měřicí rozsah	0 – 250 bar
	IP krytí	68
	Typ média	Plyn, kapalina


Tab. 21 - Parametry tlakového senzoru [20]

Kontrolér lineární aktuator

	Základní parametry kompasu	
	Napájení	9 – 35 VDC
	Hmotnost	76 g
	Rozměry	42x72x25
	Max. proud aktuator	15A


Tab. 22 - Parametry kontroléru aktuatoru [28]

LED světlo C-series

	Základní parametry světla	
	Napájení	24 VDC, 350 mA
	Intenzita osvětlení	490 Lux
	Maximální hloubka	300 metrů
	Konektor	MCBH3M
	Hmotnost na souši	146 g


Tab. 23 - Parametry světla [29]

Digitální kompas OS5000-US

	Základní parametry kompasu	
	Rozsah sklonu	$\pm 80^\circ$
	Přesnost azimutu	0,6 °; 0,1° rozlišení
	Komunikační rozhraní	RS-232, USB
	Napájení	3,3 - 5 V , 60 mW
	Rozměry	25,4x25,4x7 mm
	Hmotnost	2 g

Tab. 24 – Parametry digitálního kompasu [19]

Kamera Axis M5013

	Základní parametry kamery	
	Polohování	$\pm 180^\circ$, 90°
	Digitální zoom	3x
	Komunikační rozhraní	RJ45
	Napájení	PoE
	Rozměry	$\varnothing 130 \times 56$
	Hmotnost	330 g

Tab. 25 - Parametry kamery [30]


Řídicí systém spodní úrovně

Řídicím systémem spodní úrovně je miniaturní počítač Raspberry Pi s nadstavbovými kartami.

	Základní parametry počítače	
	Rozhraní	USB, RS-232, A/D – D/A, výstupy s otevřeným kolektorem
	Napájení	5 V microUSB, 3,5 W
	Rozměry	85,6 x 54 mm
	Hmotnost	100 g


Tab. 26 - Parametry RSSÚ [21]

Převodník RS-232/ RS-422

	Základní parametry převodníku	
	Komunikační rozhraní	RS-232/RS-422
	Napájení	5 VDC, 10 mA
	Rozměry	80x33,8x18,6 mm
	Hmotnost	24 g

Tab. 27 - Parametry převodníku [31]

Napěťový měnič

	Základní parametry převodníku	
	Vstupní napětí	39 – 59 VDC
	Výstupní napětí	24 VDC
	Výstupní proud	15A
	Hmotnost	550 g

Tab. 28 - Parametry převodníku [17]

Příloha B – Návrh těsnění

Pro návrh těsnění a utahovacího momentu šroubů je použitý program Klinger Expert od firmy Klinger. Program umožňuje volbu příruby, velikost šroubů, těsnění a vlastnosti média. Výstupem programu je list, ve kterém je uvedené navržené těsnění a utahovací moment šroubů k vyvození těsnící síly.

Těsnění mezi křídlem a trupem

KLINGER®expert 5.2.1

Výpočet těsnění

2013-05-15

Provozní podmínky

Teplota	20 °C
Vnitřní tlak	10.0 bar
Medium	voda
Koncentrace	100 %
Skupenství	kapalina
Typ zatěžujícího napětí	Zmenšit

Šrouby

Počet	22
Jakost	8.8
0.2 % limit teení	640.00 MPa
Rozměr	M-6
Tení	0.13
Utahovací moment	12 Nm

Těsnicí materiál

KLINGER®top-chem2000

Max.zatížení šroubu	12.9 kN
Využití meze kluzu	84 %
Síla ve šroubu	10.8 kN
Celková síla ve šroubech	237.7 kN

Rozměr těsnění

Tloušťka	1.50 mm
a1	125 mm
a2	80 mm
b1	325 mm
b2	270 mm
Stlačená plocha těsnění	18226 mm²
Stlačená plocha	30494 mm²
Šířka otvoru	6.8 mm

Tlak na plochu

B O	186 MPa
V U	12 MPa
E min	13 MPa
B U	10 MPa
p	-2 MPa
eff	13 MPa
V O	186 MPa

Hodnoty netěsnosti

Nets. dle DIN 28090	0.002 mg/sm
Netsnost dle DIN 3535	0.02 ml/min
Třída těsnosti	L0.01
Skut. nets. při 20°C	0.005 mg/sm
Skut. nets. při t°C	0.005 mg/sm

Verze databáze

17.09.2007

Těsnění mezi zádi robotu a trupem**KLINGER®expert 5.2.1**
Výpočet těsnění

2013-05-15

Provozní podmínky

Teplota	20 °C
Vnitřní tlak	10.0 bar
Medium	voda
Koncentrace	100 %
Skupenství	kapalina
Typ zatěžujícího napětí	Zmenšit

Rozměr příruby

Příruba	
Jmenovitá svtlost	DN
Jmenovitý tlak	

Těsnicí materiál

KLINGER®top-chem2000

Rozměr těsnění

Tloušťka	1.00 mm
Vnější průměr	168 mm
Vnitřní průměr (stla.)	136 mm
Stlačená plocha těsnění	7264 mm²
Stlačená plocha	18146 mm²
Šířka otvoru	7.2 mm

Šrouby

Počet	11
Jakost	8.8
0.2 % limit tečení	640.00 MPa
Rozměr	M-6
Tečení	0.14
Utahovací moment	10 Nm

Max.zatížení šroubu	12.9 kN
Využití meze kluzu	67 %
Síla ve šroubu	8.6 kN
Celková síla ve šroubech	94.8 kN

Tlak na plochu

B O	198 MPa
V U	10 MPa
E min	13 MPa
B U	10 MPa
p	-2 MPa
eff	13 MPa
V O	198 MPa

Hodnoty netěsnosti

Nets. dle DIN 28090	0.002 mg/sm
Netěsnost dle DIN 3535	0.02 ml/min
Třída těsnosti	L0.01
Skut. nets. při 20°C	0.003 mg/sm
Skut. nets. při t°C	0.003 mg/sm

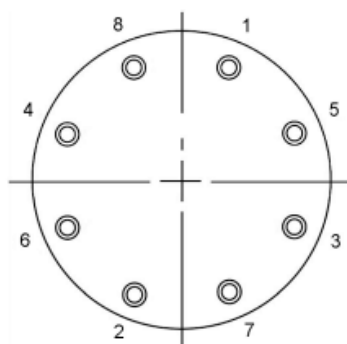
Verze databáze

17.09.2007

Příloha C – Utahování šroubů

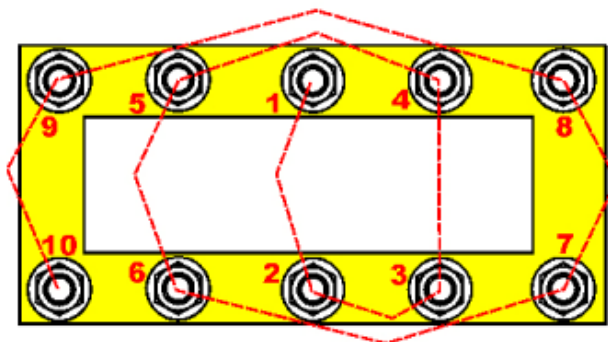
Po provedení mnoha experimentů bylo zjištěno, že utahování v nahodilém pořadí je nevyhovující. Proto se doporučuje metodika, podle které je vhodné se řídit při předepínání šroubů.

Například pro šrouby, které jsou na kruhové rozteči, se používá tzv. křížové pravidlo (obr. 40). První šrouby utáhneme do kříže a poté křížově pokračujeme na neutažených šroubech. K dosažení přesnějších hodnot, je vhodné šrouby utahovat ve více krocích. To znamená utáhnout všechny šrouby křížovým způsobem na 30% požadovaného utahovacího momentu, dále utáhneme všechny šrouby na 70% a v posledním kroku utáhneme všechny šrouby, na 100% požadovaného utahovacího momentu.



Obr. 40 - Postup utahování u kruhového vzoru

Pokud se šroubové spoje vyskytují v rozmístění, které připomíná obdélníkový vzor (obr. 41), je vhodné začít s utahováním u vnitřního šroubu. Dále se pokračuje v utahování ve spirále až po poslední šroub. Pro dosažení přesnějšího vyvození předpětí je opět vhodné utahovat šrouby v několika krocích (30%, 70%, 100%). [24]



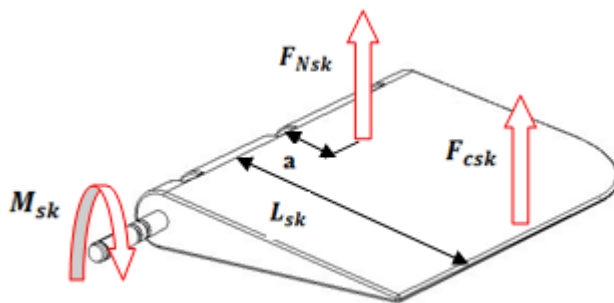
Obr. 41 - Postup utahování u obdélníkového vzoru

Příloha D – Návrh pohonu směrové klapky**Návrh klapky směrového kormidla**

Klapka se natáčí o $\pm 20^\circ$, a pro každý stupeň natočení je jiná velikost odporové síly.

Dáno:

- Délka směrové klapky $L_{sk} = 0,13 \text{ m}$
- Rychlost robotu $v_R = 1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Plocha směrové klapky $S_{sk} = 0,032 \text{ m}^2$



Obr. 42 - Definice momentu na klapce

Celkový odporový součinitel

Celkový odporový součinitel pro šikmou desku s úhlem náběhu $\gamma = 20^\circ$ je dán vztahem

$$c_n \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin \gamma}} = 0,95 \quad (\text{C1})$$

Odporová síla

$$F_{Nsk} = c_n \cdot S_{sk} \cdot \rho \cdot \frac{v_k^2}{2} = 0,95 \cdot 0,032 \cdot 1000 \cdot \frac{1,3^2}{2} = 27,7 \text{ N} \quad (\text{C2})$$

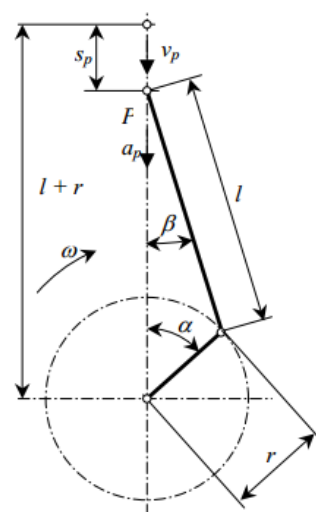
Moment klapky směrového kormidla

Moment, který vzniká při maximálním natočení klapky kormidla (obr. 42), je dán normálovou odporovou silou. Pro výpočet je použita fiktivní síla F_{cks} , která působí na konci profilu a dává stejný moment jako síla normálová F_{Nsk} .

$$M_{sk} = F_{cks} \cdot L_{sk} = 25,7 \cdot 0,13 = 3,34 \text{ Nm} \quad (\text{C3})$$

Návrh klikového mechanismu a pohonu

K transformaci lineárního pohybu pístu na rotační pohyb klapky je použit klikový mechanismus (obr. 43). Velikost setrvačných sil mechanismu je zanedbatelná, a proto nejsou v návrhu zohledněny.



Obr. 43 - Schéma klikového mechanismu

Dáno:

- Rameno ojnice směrového kormidla $l = l_{sk} = 0,037 \text{ m}$
- Rameno kliky směrového kormidla $r = r_{sk} = 0,03 \text{ m}$
- Úhel pootočení kliky $\alpha = 40^\circ$

Klikový poměr

$$\lambda = \frac{r_{sk}}{l_{sk}} = \frac{0,03}{0,037} = 0,81 \quad (\text{C4})$$

Úhel β

$$\beta = \arcsin(\lambda \cdot \sin \alpha) = \arcsin(0,81 \cdot \sin 40) = 31,37^\circ \quad (\text{C5})$$

Síla v ojnici

$$F_o = \frac{F_{psk}}{\cos \beta} \quad (\text{C6})$$

Tangenciální síla na klice

$$F_t = F_o \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (C7)$$

Moment na klice

$$M_{sk} = F_t \cdot r_{sk} \quad (C8)$$

Síla na pístu


Dosazením (C6), (C7) do (C8) vyjádříme sílu F_{psk} potřebnou na pístu

$$F_{psk} = \frac{M_{sk} \cdot \cos \beta}{r_{sk} \cdot \sin(\beta + \alpha)} = \frac{3,34 \cdot \cos(31,37)}{0,03 \cdot \sin(31,37 + 40)} = 100,3 \text{ N} \quad (C9)$$

Síla na pístu pro ostatní úhly natočení klapky je vypočtená v excelu, který je přiložený na disku.

Pohon klapky

Jako pohon klapky je zvolen lineární aktuátor firmy Concens. Tento pohon má oproti konkurenci menší průměr a je vybaven hallovým senzorem.

Maximální síla	120 N	
Zdvih	50 mm	
Rychlost vysouvání	16 mm/s	
IP krytí	68	
Hmotnost	0,8 kg	
Napájení	24 VDC, 1,8A	

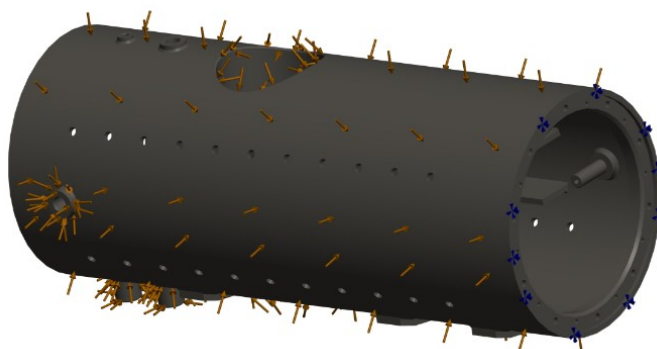
Tab. 29 - Parametry lineárního aktuátoru con35 [27]

Příloha E – Pevnostní analýzy

Pomocí pevnostní analýzy byly v diplomové práci zkontrolovány komponenty servisního robotu. Pro prezentaci byly zvoleny dva analyzované komponenty. Modely pro pevnostní analýzy musely být upraveny, tzn. zbaveny zbytečných zaoblení a sražením, které nesouvisely s funkcí.

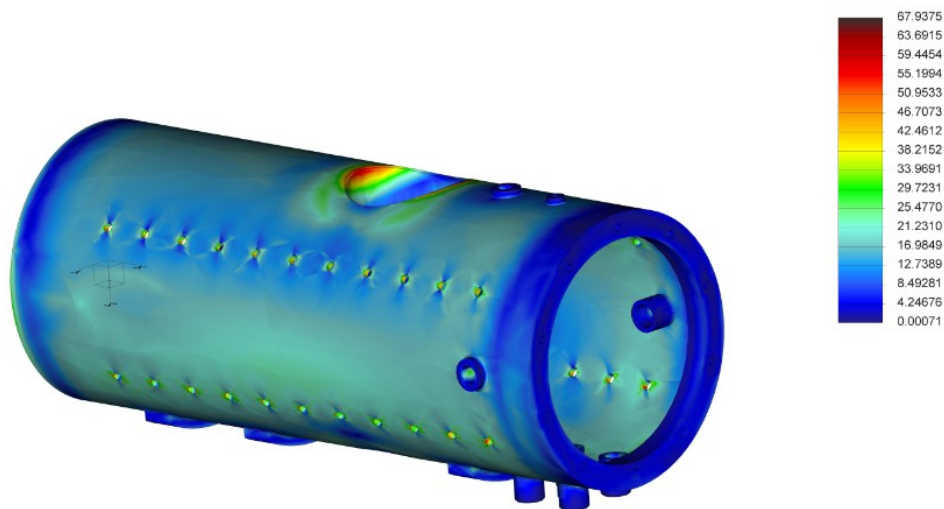
Trup

Trup robotu je kontrolován na tlak, který na něho bude působit v hloubce 90 metrů. Nastavený materiál trupu je hliník 6061 a působící tlak 1 Mpa. Pro simulaci je trup uchycen na čelních stranách (obr. 44).



Obr. 44 – Vazby a prvky modelu

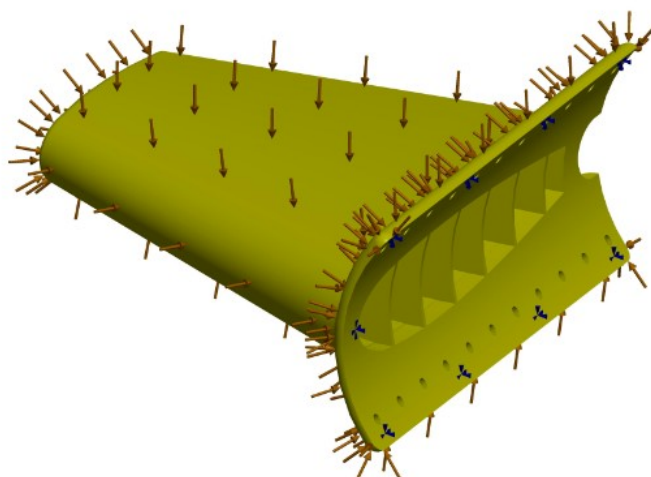
Po provedení analýzy (obr. 45) bylo zjištěno, že největší napětí (67 MPa) vzniká v místech přechodu mezi trupem a prostorem, který je pro vertikální pohon.



Obr. 45 - Výsledné napětí při působení tlaku 1 MPa

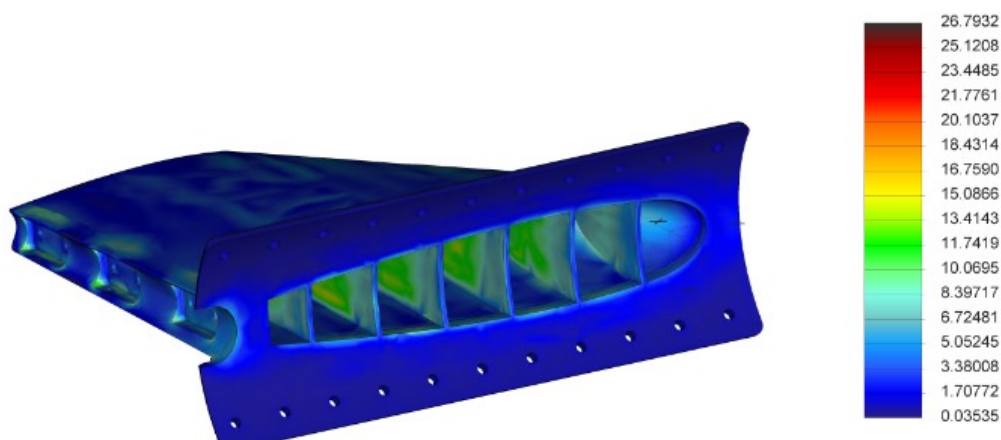
Křídlo

Křídlo hloubkové klapky bylo navrženo s přepážkami, které snížily jeho hmotnost. Materiál křídla je PP GF 30, který je ortotropní, a musely být nastaveny materiálové orientace. Křídlo bylo pevnostní analýzou zkontrolováno na průhyb a deformaci. Pro simulaci je křídlo upevněno v místě kontaktu s trupem a na celou plochu křídla působí tlak 1 MPa (obr. 46).

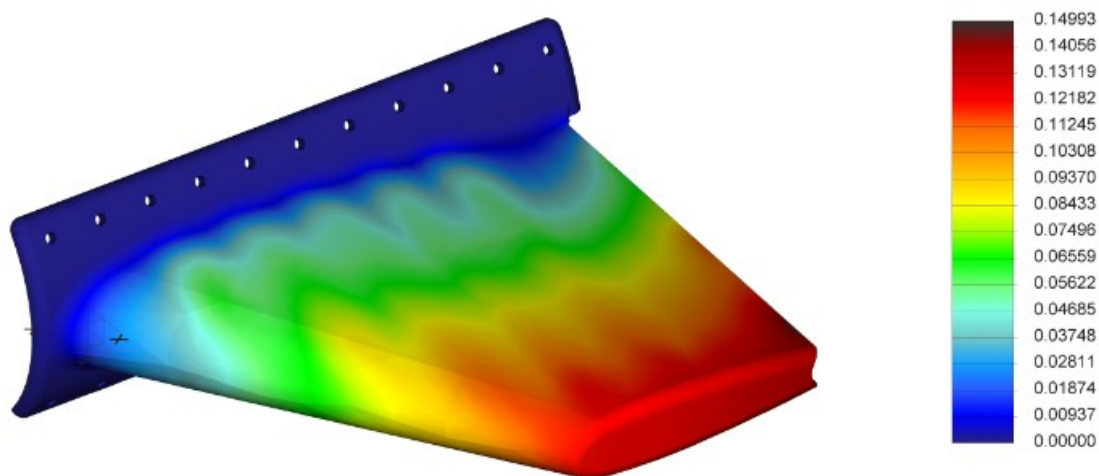


Obr. 46 – Vazby a prvky modelu

Výsledná deformace je zobrazena na obrázku (obr. 47). Největší vzniklé napětí bylo 26,7 MPa. Výsledný průhyb zobrazen na obrázku (obr. 48) má maximální hodnotu 0,14 mm na konci křídla.



Obr. 47 - Výsledné napětí



Obr. 48 - Výsledný průhyb